THÈSES

présentées

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE CLERMONT-FERRAND

par

Mohamed Bagher GHADAKI

Pour obtenir

LE TITRE DE DOCTEUR-INGÉNIEUR

1ère THÈSE : **Influence de quelques facteurs alimentaires sur la sécrétion des principaux acides gras du lait de vache.**

2ème THÈSE : **Propositions données par la Faculté.**

Soutenues le 13 Novembre 1968, devant la Commission d'Examen

Monsieur M. PASCAUD	Président d'Honneur
Monsieur P. DELOST	Président
Monsieur G. FAUCONNEAU	Examinateurs
Monsieur C. JEAN	Examinateurs

Imp. Mont-Louis P. R.

T H E S E S

préparées à la Station de Recherches sur l'Elevage des Ruminants

de l ' INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE au C.R.Z.V. de Theix

Sous la direction de

MMrs M. JOURNET et R. JARRIGE

Présentées

A LA FACULTE DES SCIENCES

DE L'UNIVERSITE DE CLERMONT - FERRAND

par

Mohamed Bagher GHADAKI

1ère Thèse : Influence de quelques facteurs alimentaires sur la sécrétion des principaux acides gras du lait de vache.

2ème Thèse : Propositions données par la Faculté

Soutenues le 13 Novembre 1968, devant la Commission d'Examen

Monsieur	M. PASCAUD	Président d'Honneur
Monsieur	P. DELOST	Président
Monsieur	G. FAUCONNEAU	Examinateurs
Monsieur	C. JEAN	Examinateurs

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

AVANT - PROPOS

Je tiens à témoigner toute ma gratitude à :

Monsieur R. JARRIGE, Directeur de la Station de Recherches sur l'Elevage des Ruminants de l'I.N.R.A., pour les moyens qu'il a mis à ma disposition et les encouragements qu'il m'a réservés,

Monsieur M. JOURNET, responsable des recherches sur les vaches laitières, pour l'aide constante qu'il m'a apportée dans la réalisation de ce travail et dans la rédaction des résultats.

Je remercie très vivement Monsieur le Professeur M. PASCAUD, de la Faculté des Sciences de Paris, dont l'enseignement m'a été particulièrement bénéfique et qui a bien voulu accepter la présidence d'honneur de mon jury de thèse.

Que Monsieur le Professeur P. DELOST trouve ici l'expression de ma gratitude.

Mes remerciements vont aussi à Monsieur G. FAUCONNEAU, Directeur de la Station des Métabolismes de l'I.N.R.A. et à Monsieur C. JEAN, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, qui ont bien voulu faire partie de mon jury de thèse.

Je n'oublierai pas Monsieur C. DECAEN et Madame Renée LEFAIVRE qui m'ont aidé dans la réalisation de mon travail.

Que tous les Chercheurs, Techniciens, Secrétaires, Ouvriers qui ont participé à des titres divers à l'élaboration de ce travail, trouvent ici l'expression de mes remerciements.

Au cours de mon séjour en France, j'ai bénéficié d'une Mission du Ministère de l'Agriculture de l'Iran et d'une bourse d'étude du Gouvernement Français, j'exprime donc ma gratitude aux autorités Iraniennes et Françaises. Que la direction de Sazemane Damparvarie Kolle Keshvare trouve ici l'expression de ma reconnaissance.

AVANT - PROPOS

Je tiens à témoigner toute ma gratitude à :

Monsieur R. JARRIGE, Directeur de la Station de Recherches sur l'Elevage des Ruminants de l'I.N.R.A., pour les moyens qu'il a mis à ma disposition et les encouragements qu'il m'a réservés,

Monsieur M. JOURNET, responsable des recherches sur les vaches laitières, pour l'aide constante qu'il m'a apportée dans la réalisation de ce travail et dans la rédaction des résultats.

Je remercie très vivement Monsieur le Professeur M. PASCAUD, de la Faculté des Sciences de Paris, dont l'enseignement m'a été particulièrement bénéfique et qui a bien voulu accepter la présidence d'honneur de mon jury de thèse.

Que Monsieur le Professeur P. DELOST trouve ici l'expression de ma gratitud

Mes remerciements vont aussi à Monsieur G. FAUCONNEAU, Directeur de la Station des Métabolismes de l'I.N.R.A. et à Monsieur C. JEAN, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, qui ont bien voulu faire partie de mon jury de thèse.

Je n'oublierai pas Monsieur C. DECAEN et Madame Renée LEFAIVRE qui m'ont aidé dans la réalisation de mon travail.

Que tous les Chercheurs, Techniciens, Secrétaires, Ouvriers qui ont partic à des titres divers à l'élaboration de ce travail, trouvent ici l'expression de mes remerciements.

Au cours de mon séjour en France, j'ai bénéficié d'une Mission du Ministèr de l'Agriculture de l'Iran et d'une bourse d'étude du Gouvernement Français, j'expri donc ma gratitude aux autorités Iraniennes et Françaises. Que la direction de Sazema Dampervarie Kolle Keshvare trouve ici l'expression de ma reconnaissance.

PERSONNEL FACULTE DES SCIENCES ANNEE SCOLAIRE 1967-1968

Doyen	:	M. SAUREL Jean
1er Assesseur	:	M. KOLHMULLER Robert
2ème Assesseur	:	M. RAOULT Gaston

Professeurs

M.	RAMBAUD René	Chimie	T
M.	BLANC Eugène	Mécanique Rationnelle	T
M.	ROQUES Maurice	Géologie	T
M.	LAPADU-HARGUES Pierre	Minéralogie	T
M.	LUTZ Hubert	Biologie Animale	T
M.	RAOULT Gaston	Physique	T
M.	CHAMPAGNAT Paul	Physiologie Végétale	T
M.	DUPLESSIS-KERGOMARD Alain	Chimie	TP
M.	AVAN Louis	Physique Expérimentale	T
Mme	HENNEQUIN Françoise	Mathématique	T
Mle	BERTHET Ginette	Physique	TP
M.	LOISEAU Jean	Botanique	T
M.	COMBE René	Physique	TP
M.	de PUYTORAC Pierre	Zoologie	T
Mme	AVAN Madeleine	Physique	TP
Mle	DONDON Marie-Louise	Chimie Physique	TP
M.	DELOST Paul	Physiologie Animale	TP
M.	SAUREL Jean	Physique	TP
M.	VIALLARD André	Chimie	TP
M.	KOHLMULLER Robert	Chimie Minérale	T
M.	GUILLAUME Marcel	Algèbre	T
M.	COMBE Jean	Physique Générale	T
M.	HENNEQUIN Paul-Louis	Mathématiques Appliquées	T
M.	L'HERITIER	Génétique	T

.../...

PERSONNEL FACULTE DES SCIENCES ANNEE SCOLAIRE 1957-1958

Doyen : M. SAUREL Jean

1er Assesseur : M. KOLHMULLER Robert

2ème Assesseur : M. FAOULT Gaston

Professeurs

M.	RAMBAUD René	Chimie	T
M.	BLANC Eugène	Mécanique Rationnelle	T
M.	ROQUES Maurice	Géologie	T
M.	LAPADU-HARGUES Pierre	Minéralogie	T
M.	LUTZ Hubert	Biologie Animale	T
M.	FAOULT Gaston	Physique	T
M.	CHAUFAGNAT Paul	Physiologie Végétale	T
M.	DUPLESSIS-KERGOMARD Alain	Chimie	TT
M.	AVAN Louis	Physique Expérimentale	T
Mme	HENNEQUIN Françoise	Mathématique	T
Mle	BERTHET Ginette	Physique	TT
M.	LOISEAU Jean	Botanique	T
M.	COMBE René	Physique	TT
M.	de PUYTORAC Pierre	Zoologie	T
Mme	AVAN Madeleine	Physique	TT
Mle	DONDON Marie-Louise	Chimie Physique	TT
M.	DELOST Paul	Physiologie Animale	TT
M.	SAUREL Jean	Physique	TT
M.	VIALLARD André	Chimie	TT
M.	KOHLMULLER Robert	Chimie Minérale	T
M.	GUILLAUME Marcel	Algèbre	T
M.	COMBE Jean	Physique Générale	T
M.	HENNEQUIN Paul-Louis	Mathématiques Appliquées	T
M.	L'HERITIER	Génétique	T

Professeurs sans Chaire

M.	PETERLONGO Jean-Marc	Géologie
M.	BAILLAUD Lucien	Botanique
M.	VESSIERE Roger	Chimie
M.	BATHIER Marcel	Physique
Mle	DUCHER Suzanne	Chimie
M.	FALGAS Maurice	Mathématiques
M.	ROCHE Jean-Etienne	Physique
M.	MARTINET Pierre	Chimie
M.	MAISONNEUVE Jacques	Géologie
M.	CAPESTAN Michel	Chimie
M.	LENOIR Marcel	Mathématiques
M.	THOMAS Jean	Physique
P.	BERNARD Maurice	Physique

Maîtres de Conférences

M.	ISABELLE Didier	Physique
M.	CAUBERE Paul	Chimie
M.	SOULAGE René	Géophysique Générale
M.	DUFAURE Jean-Paul	Biologie Animale
M.	COURDUROUX Jean-Claude	Zoologie
M.	ARIBAUD François	Mathématiques
M.	GRAIN Jean	Zoologie
M.	JEAN	Physiologie Animale

Chargés d'Enseignement

M.	CHADEYRAS Marcel	Mathématiques
M.	BADRIKIAN Albert	Mathématiques
Mme	BESSERRE Anne-Maris	Mathématiques
M.	BOILLAT Guy	Mathématiques
M.	LE THANH Phong	Mathématiques

Attachée principale

Mme CHOPART Marie-Louise

I N D E X

Première partie

		page
I -	But et intérêt de l'étude	1
II -	Origine des lipides du lait	4
	1 - Origine des acides gras	5
	2 - Origine du glycérol	11
	3 - Mécanisme d'estérification	12
III -	Etude bibliographique des facteurs de variation de la composition en acides gras des matières grasses du lait	13
	1 - Facteurs génétiques et physiologiques	13
	2 - Facteurs alimentaires	14

Deuxième partie

I -	Matériel et méthodes	22
	1 - Mesures sur les animaux	22
	2 - Méthode d'analyse des matières grasses	23
	A/ Analyse des esters méthyliques	23
	B/ Analyse de deux esters	24
	C/ Analyse des esters butyliques en programmation de température	27
II -	Evolution de la composition en acides gras des matières grasses du lait au début de la lactation : influence de l'état nutritionnel	35
	. Résultats	37
	. Discussion	50
III -	Passage de l'alimentation hivernale à l'alimentation à l'herbe et influence de la nature de l'herbe et du stade végétatif	53
	. Résultats	56
	1/ Influence du passage du régime hivernal au régime d'herbe	56
	2/ Influence du stade de végétation et de l'espèce botanique	64
	3/ Relations entre les paramètres	65

.../...

. Discussion 69
. Rôle de la fraction lipidique 70
. Modifications des fermentations du rumen 72
. Rôle des lipides corporels 72

IV - Régime provoquant une chute de la teneur en matières grasses du lait 73

. Régime à base d'aliments 74
. Résultats 76
1/ Evolution au cours de l'expérience 76
2/ Différences entre régimes 80
3/ Relations inter-individuelles observées 87

. Discussion 89

. Régime à base de céréales 91
. Résultats 94
. Discussion 106

Discussion générale 112

I - Variation de la sécrétion des acides gras 113

1 - Variabilité intra-régimes 113
2 - Variabilité entre-régimes 116
3 - Liaison avec les variations de la teneur en matières grasses 117

II - Origine des variations de la composition des lipides du lait 117

1 - Avec les régimes normaux 119
2 - Avec les régimes particuliers 120

Résumé 121

Références bibliographiques 127

INFLUENCE DE QUELQUES REGIMES ALIMENTAIRES
SUR LA SECRETION DES PRINCIPAUX ACIDES GRAS DU LAIT DE VACHE

Première partie

I - BUT ET INTERET DE L'ETUDE

L'importance des matières grasses du lait dans l'alimentation de l'homme et des jeunes animaux a conduit très tôt des chercheurs à en faire l'étude approfondie. Ainsi, dès 1823, CHEVREUL détermina la structure glycéridique des matières grasses du lait et sépara les acides butyrique, caprique et caproïque du beurre. Depuis, les variations de la teneur en matières grasses du lait, la constitution et la biosynthèse de leur glycérides ont fait l'objet de nombreux travaux (cf. revues FOLLEY, 1954 - JARRIGE et JOURNET, 1959 - GARTON, 1960-1963 - FOLLEY et Mc NAUGHT, 1961 - AURIOL et JARRIGE, 1962 - Van SOEST, 1963 - OLSON, 1966 ...); par contre, il y a peu d'études sur les variations de la composition en acides gras des glycérides du lait lorsque la teneur en matières grasses varie.

L'analyse par chromatographie en phase gazeuse d'un mélange complexe d'acides gras, comprenant en particulier des acides gras à courte chaîne, pose de nombreux problèmes (volatilité, solubilité et difficulté de séparation des esters méthyliques des acides gras courts). La plupart des méthodes utilisées ne donnent la composition en acides gras qu'à partir de C_{10} ; cependant, les matières grasses du lait de vache sont relativement riches en acides gras courts; c'est grâce à eux, l'acide butyrique notamment, et à leur structure glycéridique que les matières grasses du lait ont un coefficient d'utilisation digestive particulièrement élevé, de l'ordre de 98 p.100 (cf. par exemple MATHIEU et BARRE, 1964 - TOULLEC,1967).

.../...

L'étude des variations de la composition en acides gras des matières grasses du lait présente des intérêts d'ordres différents :

Physiologique

On peut rechercher les causes et les mécanismes de variations de la teneur en matières grasses du lait, à partir des modifications de la composition des matières grasses et de la quantité sécrétée de chaque acide gras et en tenant compte de l'origine de ces acides gras selon les théories émises par FOLLEY, 1954 - FOLLEY et Mc NAUGHT, 1961 - GARTON, 1963 - GERSON et al., 1968 :

- les acides gras courts (C_2 à C_{12} inclus) qui sont synthétisés par la mamelle à partir de l'acide acétique et de l'acide β hydroxybutyrique;

- les acides gras longs (C_{18} et supérieurs) qui proviennent des lipides du sang, lesquels ont pour origine soit la mobilisation des réserves lipidiques, soit les lipides alimentaires;

- les acides myristique et palmitique qui proviennent à la fois de la synthèse par la mamelle et des lipides du sang.

Nutritionnel

Dans l'alimentation des jeunes les matières grasses du lait entier et des aliments d'allaitement tiennent une grande part et sont indispensables (CUNNINGHAM et LOOSLI, 1954). L'utilisation des matières grasses introduites dans les aliments d'allaitement est d'autant meilleure et les troubles digestifs d'autant moins fréquents que leur composition en acides gras se rapproche de celle du lait entier, produit à partir de rations normales (MATHIEU et BARRE, 1964 - TOULLEC, 1967).

La nécessité des matières grasses dans l'alimentation des jeunes serait due d'une part aux acides gras indispensables que l'organisme animal est incapable de synthétiser (en particulier l'acide linoléique, LE BRETON et FERRET, 1959) et, d'autre part, au fait que les matières grasses servent de véhicule aux vitamines liposolubles.

On peut espérer améliorer la vitesse de croissance et l'état d'engraissement en produisant des laits dont la teneur en différents acides gras est adaptée aux besoins des veaux aux différentes phases de la vie de l'animal.

Technologique

Pour améliorer la qualité du beurre et des autres produits laitiers, on peut faire varier avec l'alimentation la proportion des différents acides gras, notamment les rapports acides gras courts/acides gras longs ou acides gras saturés/acides gras insaturés.

L'objet de cette étude a été :

1/ De mettre au point une méthode d'analyse rapide, adaptée à la série, permettant d'obtenir tous les acides gras principaux, y compris les acides gras courts, sur un seul chromatogramme.

2/ D'analyser les variations de la composition en acides gras des matières grasses du lait sous l'action des facteurs alimentaires responsables normalement de changements importants de la teneur en matières grasses ou de la quantité de ces dernières, à savoir :

- l'état nutritionnel au début de la lactation,
- le passage de l'alimentation hivernale à l'alimentation à l'herbe, ainsi que l'influence de la nature de l'herbe et du stade végétatif,
- les régimes qui provoquent des baisses de la teneur en matières grasses du lait : régime à base de céréales ou de fourrages condensés (broyés et agglomérés).

3/ D'utiliser dans chaque cas les résultats obtenus comme moyen d'interprétation des mécanismes de la sécrétion des matières grasses du lait.

Cette étude a porté sur 58 vaches et environ 340 échantillons individuels.

.../...

II - ORIGINE DES LIPIDES DU LAIT

La quantité de lipides sécrétée dans le lait d'une vache forte productrice est supérieure à la quantité des lipides de sa ration. L'équilibre du bilan se fait grâce à la participation des lipides corporels et à la synthèse des lipides du lait à partir des constituants non lipidiques de la ration.

Les lipides du lait se trouvent sous forme de globules gras de faible diamètre (0,1 à 0,2 μ) dispersés dans une phase liquide qui contient d'autre part, des protéines, du lactose et des sels minéraux. La fraction lipidique sert elle-même de support aux éléments liposolubles, vitamines A, D, E, K et pigments.

Les lipides du lait de vache renferment essentiellement des triglycérides (98 à 99 p.100) et une faible quantité de phospholipides (0,2 à 1 p.100), cholestérol, squalène, lanostérol (0,25 à 0,4 p.100), acides gras libres; ils contiennent aussi des traces de monoglycérides dont la présence serait due à un début de lipolyse, et des composés à liaisons éther-oxyde, aldéhydique et cétonique; l'origine de ces fractions mineures n'est pas toujours bien connue.

Les triglycérides du lait ne sont pas homogènes; en règle générale ils renferment trois acides gras différents.

La composition en acides gras des triglycérides du lait a été étudiée au cours des quinze dernières années par chromatographie sur colonne, par spectrophotométrie infrarouge, ultra violette et enfin par chromatographie en phase gazeuse présentée par JAMES et MARTIN (1952). De plus, les différentes caractéristiques physico-chimiques des acides gras permettent également de les identifier. Ces caractéristiques sont le point de fusion, l'étude des cristaux, le résultat de l'analyse de combustion et le comportement face à l'isomérisation alcaline.

Après une étude approfondie des différentes fractions d'esters méthyliques des acides gras du lait de vache, SHORLAND, GERSON et HENSEN (1955) concluent à la présence d'acides gras saturés ramifiés (iso-antéiso et pluri-ramifiés), d'acides gras non saturés à nombre impair de carbones. HERB et al. (1962) analysent les esters méthyliques des lipides du lait par chromatographie en phase gazeuse, spectrophotométrie ultra-violette et en tenant compte du comportement face à l'isomérisation alcaline; ils identifient 64 acides gras dont 27 en très faible quantité (inférieur à 0,1 p.100 des acides gras totaux). IVERSON, EISNER et FIRESTONE (1965) portent ce nombre à 84 et JENSEN et al. (1967) à 142.

1 - ORIGINE DES ACIDES GRAS

Les acides gras du lait ont deux origines : la glande mammaire en synthétise une partie (les acides gras courts C_4 à C_{16} inclus) à partir des acides gras volatils issus des fermentations digestives de la cellulose et d'autres hydrates de carbone ainsi que de la chaîne carbonée des acides aminés; d'autre part, elle prélève les acides gras longs (une partie de C_{14} et C_{16} et les acides gras ayant plus de 16 atomes de carbone) dans le sang qui l'irrigue (cf. revues FOLLEY, 1954 - FOLLEY et Mc NAUGHT, 1961 - GARTON, 1963 - GERSON et al., 1968). Ces derniers peuvent provenir soit de la mobilisation des réserves corporelles lipidiques, en particulier C_{18} et $C_{18:1}$ comme c'est le cas au début de la lactation et en période de jeûne (cf. chapitre III), soit des lipides alimentaires directement (cf. revues de GARTON, 1963 - KUZDZAL-SAVOIE, 1964a - SKOURI, 1967), ou après remaniements (cf. chapitre III), soit enfin des acides gras ramifiés des micro-organismes (KEENEY, KATS et ALISON, 1962 - VIVIANI, 1962 - KUZDZAL-SAVOIE, 1964b).

ACIDES GRAS COURTS

Dans les conditions normales d'alimentation les acides gras courts représentent environ 12 à 20 p.100 des acides gras totaux du lait de vache.

Le pouvoir de synthèse des acides gras courts par la glande mammaire des ruminants à partir de l'acétate a été mis en évidence in-vitro par la mesure du quotient respiratoire de l'homogénat du tissu mammaire (FOLLEY et FRENCH, 1949-1950) et in-vivo par POPJAK et al. (1951a).

POPJAK et al. (1951b) et BALMAIN et al. (1954) en dégradant les acides gras marqués (C^{14}) concluent que les acides butyrique et caproïque proviennent de la condensation respectivement de deux et trois unités d'acétate. La biosynthèse des acides gras à partir de l'acétate est pleinement confirmée par l'administration de l'acétate dans le rumen (PATRUCCO et al., 1963 - MASOERO et al., 1963 - ROOK, BALCH et JOHNSON, 1965 - STORRY et ROOK, 1965a et b - KNOX, 1965 ...).

L'analyse chromatographique a permis de faire de rapides progrès dans la connaissance de la biosynthèse des acides gras (cf. revue de PASCAUD, 1963). Les mécanismes de la synthèse des acides gras par la glande mammaire à partir de l'acétate ont été étudiés ou exposés par de nombreux auteurs (cf. revues de FOLLEY, 1954 - FOLLEY et Mc NAUGHT, 1961 - WAKIL, 1961 - PASCAUD, 1963 - GARTON, 1963 - OLSON, 1966 - SKOURI, 1967 ...).

Dans la cellule il existe deux voies de la biosynthèse des acides gras : l'une cytoplasmique et l'autre mitochondriale (WAKIL, 1961).

La voie cytoplasmique permet la synthèse des acides gras moyens et longs par la condensation d'une unité d'acétyl CoA avec n unités (n = 1 à 8) de malonyl CoA, et celle des acides gras courts par la condensation de n unités d'acétyl CoA. Le pouvoir de l'acétyl CoA de se condenser avec les chaînes carbonées est réduit au-delà de 12 atomes de carbone (POPJAK et al., 1951b). Il convient de remarquer que si le propionyl CoA prend la position de l'acétyl CoA initial, l'acide gras synthétisé sera un acide à nombre impair de carbone ce qui explique en partie l'existence de ces acides gras dans le lait.

Dans la mitochondrie les acides gras sont synthétisés grâce à l'élongation des chaînes pré-existantes par les unités d'acétate sour forme

de l'acétyl CoA. Cette synthèse semble avoir lieu au niveau de la glande mammaire des ruminants (GERSON et al., 1968), mais pas des monogastriques (ABRAHAM et al., 1961 - DILS et POPJAK, 1962).

ACIDES MYRISTIQUE ET PALMITIQUE

Dans les conditions normales d'alimentation les acides myristique et palmitique représentent environ 35 à 45 p.100 des acides gras totaux du lait. Ces deux acides ont une double origine : la synthèse par la mamelle, comme les acides gras courts, et les lipides du sang. L'importance respective de chaque source dépend avant tout de la composition de la ration et de la prédominance des acides gras apportés.

ACIDES GRAS LONGS

Avec les rations classiques les acides gras longs représentent de 27 à 40 p.100 des acides gras totaux des graisses du lait.

La glande mammaire puise dans le sang les acides gras longs; ceci a été montré par différentes méthodes : l'administration intraveineuse d'acides gras longs n'existant pas dans les lipides du lait, l'utilisation des acides gras iodés, les mesures de différences artérioveineuses et enfin le marquage isotopique des acides gras.

La part des lipides plasmatiques dans les lipides totaux du lait serait d'environ 50 p.100 (LUICK et KLEIBER, 1960 - RIIS et al., 1962 - LUICK et MOUSTGAARD, 1962). Utilisant P^{32} et C^{14}, RIIS (1959) trouve que 53 p.100 des acides gras sont d'origine alimentaire et 47 p.100 dérivent de la synthèse par la glande mammaire.

Les acides gras du sang ont deux origines : les acides gras de la ration alimentaire et les acides gras issus de la mobilisation des réserves corporelles lipidiques de l'animal. La part de ces deux origines dans les matières grasses du lait dépend avant tout de l'état nutritionnel de l'animal.

La mise en réserve ainsi que la mobilisation des lipides sont soumises à de nombreux facteurs de régulation : nerveux, hormonaux et vitaminiques qui agissent directement ou indirectement.

a) Acides gras saturés

Les acides gras ayant plus de 16 atomes de carbone, sont d'origine plasmatique. Une partie des acides gras saturés à longue chaîne carbonée peut provenir des acides gras non saturés qui ont été hydrogénés soit au niveau du rumen (cf. chapitre III), soit dans le tissu adipeux (LE BRETON, 1948).

b) Acides gras insaturés

- C_{18} monoinsaturés

L'acide oléique ($C_{18:1}$ Δ 9 - 10 Cis) est le plus abondant des acides gras insaturés du lait. Il provient des acides gras insaturés du sang ou de la désaturation de l'acide stéarique au niveau de la mamelle. La glande mammaire a un pouvoir dedéshydrogénation qui lui permet de former de l'acide oléique à partir de l'acide stéarique (LAURYSSEN et al., 1961 - ANNISON et al., 1967). Notons que la proportion de l'acide oléique dans le sang est moins élevée que celle de l'acide stéarique (DAVIS et SACHAN, 1966). Ces proportions sont inversées dans le cas des matières grasses du lait (tableau 1).

L'acide élaïdique ($C_{18:1}$ Δ 9 - 10 trans) et l'acide vaccénique ($C_{18:1}$ 11 - 12 Cis) représentent environ 10 p.100 des acides gras monoinsaturés à 18 atomes de carbone dans le lait d'hiver et 20 p.100 dans le lait de pâturage (PATTON et al., 1960). Ces deux acides semblent provenir de l'hydrogénation des acides gras polyinsaturés des aliments dans le rumen, essentiellement de l'acide linoléique (WARD et al., 1963).

- Acides gras polyinsaturés

L'organisme animal n'est pas capable de synthétiser les acides gras polyinsaturés à 18 atomes de carbone (linoléique et linolénique). L'acide linoléique (cis 9 cis 12 octadecadiénoïque) est le seul acide gras

Tableau 1

PROPORTION DES ACIDES GRAS (C_{18}) DANS LES MATIERES GRASSES DU LAIT, ET LES DIFFERENTES FRACTIONS DU SANG CHEZ LA VACHE

	Lait	Sang				
		Acides gras libres, mono et diglycérides	Triglycérides	Ester de Cholestérol	Phospholipides	Lipides totaux
	a	b	b	b	b	b
C_{18}	9,7	21,98	18,13	0,52	17,27	3,36
$C_{18:1}$	28,6	24,78	22,57	4,96	27,94	5,64
$C_{18:2}$	1,8	10,93	10,84	62,87	4,46	64,44
$C_{18:3}$	-	-	-	4,51	-	2,21

a - HILDITCH et JASPERSON, 1943

b - BROWN et STULL, 1966

indispensable (LE BRETON et FERET, 1959) et, de ce fait, a une importance majeure dans l'alimentation des jeunes.

Les acides gras polyinsaturés constituent environ 4 p.100 des acides gras totaux du lait. On peut faire varier leur teneur dans le lait en apportant de l'huile de lin ou de coton dans l'alimentation de la vache laitière mais le rendement de cette opération est très faible (KUZDZAL-SAVOIE, 1964a). Nous avons observé une augmentation de la proportion des acides linoléique et linolénique lors du passage de l'alimentation hivernale à l'alimentation à l'herbe (tableau 14).

ACIDES GRAS RAMIFIES

Les acides gras ramifiés représentent environ 2 p.100 des acides gras totaux du lait; ils sont prélevés dans le sang; ils proviennent soit des aliments soit de la synthèse microbienne dans le rumen.

Les matières grasses des aliments contiennent environ 1 p.100 d'acides gras ramifiés, mais l'ensilage en est plus riche (2 p.100 des acides gras totaux, KUZDZAL-SAVOIE, 1964b). La quantité de ces acides gras sécrétée dans le lait est nettement supérieure à celle ingérée par la vache laitière (KUZDZAL-SAVOIE, 1964a).

Les lipides structurels des micro-organismes peuvent fournir une partie des acides gras ramifiés du lait; chez la vache les lipides de la flore microbienne contiennent des acides gras ramifiés à 13, 14, 15, 16 et 17 atomes de carbone avec prédominance de C_{15} (20 p.100 des acides gras des micro-organismes et 1 p.100 de ceux du lait).

Notons que certaines souches bactériennes du rumen, notamment les bactéries cellulolytiques, exigent comme facteur de croissance des acides gras à chaîne ramifiée (KEENEY, KATZ et ALLISON, 1962 - ALLISON et al.,1962). Les acides gras ramifiés sont synthétisés par les micro-organismes du rumen à partir des acides isobutyrique, isovalérique et 2 méthyl butyrique. Ces derniers sont issus de la désamination et de la décarboxylation des acides

aminés (valine, leucine et isoleucine) par les bactéries (EL SHAZLY, 1952 - ANNISON, 1954). Les acides gras ramifiés des micro-organismes sont métabolisés par l'hôte comme les acides gras normaux.

Les acides gras ramifiés pourraient aussi provenir des réserves corporelles lipidiques de l'animal au début de la lactation (KUZDZAL-SAVOIE, 1964b).

2 - ORIGINE DU GLYCEROL

Le glycérol se trouve sous forme de glycéride dans le lait; il représente environ 11,5 p.100 en poids des matières grasses du lait (cf. page 34). Son origine est double : les triglycérides du sang et la synthèse endogène par la glande mammaire. Par injection intraveineuse de glucose (C^{14}) à des vaches en lactation, LUICK et KLEIBER (1961) ont montré que 70 p.100 du carbone glycérique du lait de vache proviennent du glucose plasmatique soit au niveau de la mamelle, soit au niveau du foie. Pour WOOD et al. (1958) et LUICK (1961) la première possibilité semble plus importante.

L'injection intramammaire ou intraveineuse des différents métabolites a permis de mieux préciser l'importance des précurseurs du glycérol. FRENCH et al. (1952) ont montré que le glycérol est élaboré à partir de glucose mais non à partir du lactose. HARDWICK et al. (1963) trouvent que 23 p.100 de glycérol est synthétisé dans la glande mammaire à partir du glucose et 2 p.100 à partir de l'acétate; le reste est fourni par les triglycérides du sang.

Notons que les résultats in vitro sont différents de ceux in vivo. Dans la glande mammaire de vache en perfusion avec le propionate (1-C^{14}) (LAURYSSEN et al., 1956) ou avec le glucose (1-C^{14}) (DIAMENT et al., 1953) le lactose est marqué alors que le glycérol l'est très peu. Les raisons de cette différence sont obscures.

3 - MECANISMES D'ESTERIFICATION

Si de nombreux travaux ont été effectués sur la biosynthèse des acides gras il n'y a par contre que peu d'études sur le mécanisme d'estérification des acyl-CoA.

La composition en acides gras des triglycérides du lait est différente de celle des glycérides du sang (tableau 1).

La mise en évidence de la synthèse des acides gras et du glycérol dans la glande mammaire et l'existence d'une lipase dans la mamelle (PATTON et Mc CARTHY, 1963) ont permis de suggérer que les glycérides sont formés à partir des acides gras et du glycérol provenant à la fois des synthèses mammaires et de l'hydrolyse préalable des triglycérides du sang. Cette hypothèse est pleinement confirmée par de nombreux auteurs soit in vivo par injection intra-mammaire d'acide stéarique ($1\text{-}C^{14}$) chez la vache laitière (LUICK et LUCAS, 1962), soit in vitro dans une mamelle en perfusion par incorporation des acides gras libres dans les glycérides plasmatiques (LAURYSSEN et al., 1960-1961).

Le phénomène de trans-estérification a été démontré dans le foie du rat. Il semble que le système enzymatique de la mitochondrie peut permettre la condensation entre l'acide gras formé et le diglycéride issu de la dégradation d'un triglycéride (FOLLEY et al., 1962).

Deux voies de synthèse des glycérides sont bien connues : l'une à partir de l'α - glycérophosphate et des acyl-CoA (DILS et CLARK, 1962), l'autre par l'estérification d'un monoglycéride avec 2 acyl-CoA. Le l'α - glycérophosphate provient soit de la réduction du déhydroxyacétonephosphate (BARANOWSKI cité par TOVE, 1965), soit par le transfert du phosphate de l'A.T.P. sur le glycérol préformé en présence de glycérokinase.

III - ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE DES FACTEURS DE VARIATION DE LA COMPOSITION EN ACIDES GRAS DES MATIERES GRASSES DU LAIT

Nous analyserons brièvement les travaux réalisés sur les facteurs de variation de la composition en acides gras des matières grasses du lait; nous distinguerons les facteurs génétiques et physiologiques (race, stade de lactation) et les facteurs alimentaires.

1 - FACTEURS GENETIQUES ET PHYSIOLOGIQUES

Races et variations individuelles

Les matières grasses sécrétées n'ont pas la même composition en acides gras chez les différentes races de vaches.

KUZDZAL-SAVOIE (1959) a observé que l'indice d'iode est plus élevé et l'acidité volatile soluble des matières grasses moins élevée chez les vaches de la race Pie-rouge de l'Est que chez celles des races Normande ou Frisonne-Pie-noire (ces deux dernières ayant les mêmes indices).

Les matières grasses du lait de la race Holstein se caractérisent par une teneur élevée en acide palmitique et moins élevée en acide oléique et en acides gras courts que celles de la race jersiaise d'après LUICK et SMITH (1963), OPSTVEDT et RONNING (1967), alors que STULL et BROWN (1964) ont trouvé que les matières grasses du lait chez la race Holstein sont plus riches en acides oléique et palmitoléique et moins riches en acides gras courts et palmitique que celles du lait des races Jersiaise et Guernesey.

OPSTVEDT et RONNING (1967) avec une ration à base de concentré et LUICK et SMITH (1963) chez des animaux au jeûne ont montré que l'influence des facteurs alimentaires est moins accentuée sur la composition en acides gras des matières grasses du lait chez la race Jersiaise que chez la race Holstein.

KUZDZAL-SAVOIE (1959) a observé qu'à l'intérieur d'une même race, les différences individuelles de la composition des matières grasses (Normande ou Frisonne-Pie-noire) peuvent être aussi importantes que celles des laits de mélange entre trois races : Normande, Frisonne-Pie-Noire et Pie-rouge de l'Est.

Stade de lactation

Il existe peu d'études sur l'évolution de la composition en acides gras des glycérides du lait au cours de la lactation (DECAEN et ADDA, 1966 - STULL et al., 1966 - DECAEN et JOURNET, 1967). Durant les deux premiers mois après la mise-bas, la composition en acides gras des matières grasses du lait évolue; l'importance et le sens des variations semblent dépendre du bilan énergétique qui est également fonction du niveau de production laitière (DECAEN et JOURNET, 1967).

Pour DECAEN et ADDA (1966) à partir du 3ème mois après la mise-bas le stade de lactation n'a pas un grand effet sur la composition en acides gras des matières grasses du lait. Il n'en est pas de même pour STULL et al. (1966), qui ont cependant observé que la proportion des acides gras courts (C_6 - C_{10} inclus) augmente au cours de toute la durée de la lactation et celle de l'acide palmitique diminue; quant aux pourcentages des acides gras longs, ils diminuent jusqu'à la 30ème semaine de la lactation et augmentent légèrement par la suite.

STULL et al. (1966) comme DECAEN et ADDA (1966) et DECAEN et JOURNET (1967) attribuent l'évolution des acides gras longs au début de la lactation à la mobilisation des réserves lipidiques.

2 - FACTEURS ALIMENTAIRES

La variation de la composition en acides gras des matières grasses du lait sous l'influence des facteurs alimentaires a fait l'objet de peu d'études et la plupart des auteurs ont surtout analysé le beurre des laiteries (HOSOGAI, 1964 - GUYOT, 1965 - NIKI et al., 1966).

Le jeûne

Le jeûne ou la sous-nutrition aigüe détermine une diminution de la quantité de lait et une augmentation du taux butyreux (cf. revues JARRIGE et JOURNET, 1959 et de AURIOL et JARRIGE, 1962). La composition des matières grasses produites se caractérise par une proportion élevée en acides gras longs et une proportion moins élevée en acides gras courts. Le pourcentage des acides gras longs peut atteindre les 2/3 des acides gras totaux contre 1/3 dans le lait normal (LUICK et SMITH, 1963 - PEHRSON et CARLSTROM, 1966).

Régime hivernal et régime d'herbe

Différents auteurs ont montré que la teneur en acides stéarique et oléique est plus élevée et celle en acide palmitique plus faible au cours de l'été que durant l'hiver (Mc DOWELL, 1953 - JENSEN, GANDER et SAMPUGNA, 1962 - RICHARDSON et Mc GANN, 1964 - GUYOT et PIRAUX, 1965 - ANTILA, 1966). Les variations observées sont dues essentiellement aux différences des régimes alimentaires : foin (plus ensilage, racines ..) en hiver, herbe verte en été. En effet, KUZDZAL-SAVOIE (1964a) a trouvé que durant la période de la mise à l'herbe la proportion des acides stéarique et oléique augmente et celle des acides laurique, myristique et palmitique diminue. Les variations rapportées par Mc DOWELL (1953) au cours de la saison de pâturage en Nouvelle Zélande seraient dues aux modifications de la teneur en matières grasses de l'herbe avec le stade de végétation (HAWKE, 1963).

Les matières grasses alimentaires

a) Apport à un régime lipidoprive ou pauvre en lipides

Les régimes lipidoprives ou pauvres en lipides n'assurent pas une production normale de lait et de matières grasses. Donc un apport optimum de matières grasses est indispensable pour que la sécrétion du lait et sa teneur en matières grasses soient normales. Dans le cas de la vache laitière VIRTANEN (1966) trouve qu'un apport de 37 à 130 g de lipides par jour et par vache stimule la production de lait et de matières grasses mais elle semble encore insuffisante pour assurer une production normale du lait (VIRTANEN, 1966-

STORRY, ROOK et HALL, 1967). La quantité minimum de lipides pour une vache laitière serait de 300 à 350 g par jour (LEROY et BONNET, 1947).

Les régimes pauvres en lipides ont aussi une influence sur la composition en acides gras des matières grasses du lait; VIRTANEN (1966) avec une ration synthétique constituée de cellulose, d'amidon, de sucre, de sels minéraux, d'urée, de sel ammoniacal, de vitamines et de deux quantités différentes d'huile végétale trouve les résultats du tableau 2. Ces régimes provoquent donc une modification considérable de la composition en acides gras des lipides du lait. Chez les vaches recevant des rations contenant 37 et 130 g de lipides VIRTANEN (1966) constate que les acides gras $\leqslant C_{16}$ représentent respctivement 89 p.100 et 77 p.100 (en poids) des acides gras totaux; cette proportion est de 83 p.100 avec une ration contenant 100 g de lipides (STORRY, ROOK et HALL, 1967), de 80 p.100 avec un régime pauvre en lipides chez la chèvre (DELAGE et FEHR, 1967) et de 60 p.100 avec les régimes normaux (VIRTANEN, 1966).

Dans le cas des régimes pauvres en lipides, c'est seulement l'apport d'acides gras longs à 18 atomes de carbone qui permet d'accroître les proportions de ces mêmes acides gras dans les matières grasses du lait (STORRY, ROOK et HALL, 1967).

b) Apport supplémentaire à un régime normal

L'apport en quantité importante d'un acide gras long saturé ou non dans le régime alimentaire (sous différentes formes : huile, tourteaux, suif, acides gras purs) a pour effet d'enrichir le lait en acides gras ayant une même longueur de chaîne (cf. revue GARTON, 1963).

Un acide gras long saturé provoque une augmentation, dans le lait, de la proportion de cet acide et de l'acide monoinsaturé ayant la même longueur de chaîne. La déshydrogénation des acides gras saturés se fait au niveau de la mamelle (LAURYSSEN, VERBEKE et PEETERS, 1961 - ANNISON et al.1967), mais DELAGE et FEHR (1967) en étudiant la fraction lipidique du sang chez

Tableau 2

INFLUENCE DES REGIMES SYNTHETIQUES PAUVRES EN LIPIDES
SUR LA COMPOSITION DES MATIERES GRASSES DU LAIT

(D'après VIRTANEN, 1966)

	Vache recevant la ration synthétique		Lot témoin régime normal
Quantité d'huile (g)	37	130	
Acides gras courts (p.100)	11,63	12,37	10,61
Acide palmitique (p.100)	48,16	38,90	28,41
Acide stéarique (p.100)	0,98	2,54	12,29
Acide oléique (p.100)	8,35	19,14	29,37

des chèvres recevant de l'acide stéarique, concluent que cette réaction commence avant; cette constation est sans doute due au pouvoir qu'a le tissu adipeux de déshydrogéner et de saturer les acides gras (LE BRETON, 1948).

L'apport des acides gras longs polyinsaturés dans la ration provoque un enrichissement des matières grasses du lait en acides gras à même nombre d'atomes de carbone, saturés ou monoinsaturés (tableau 3). Les acides gras insaturés sont hydrogénés au niveau du rumen, partiellement pour certains et complètement pour d'autres; ils sont également remaniés, ce qui conduit d'une part aux acides gras saturés et monoinsaturés (SHORLAND, WEENINK et JOHN, 1955 - WRIGHT, 1959 - VIVIANI et LENAZ, 1963 WARD, SCOTT et DAWSON, 1964) et d'autre part, aux isomères trans ou de position (SHORLAND, WEENINK et JOHN, 1955) et aux acides gras conjugués (SHORLAND, WEENINK et JOHN, 1957).

Un apport d'acides gras courts (par exemple C_{12}) provoque une augmentation de la proportion de cet acide et de celle des acides gras à plus longue chaîne (tableau 3).

Les régimes provoquant une baisse de la teneur en matières grasses du lait

a) Les régimes à base de céréales

Les rations contenant une proportion élevée d'aliments concentrés (plus de 50 p.100 en moyenne) diminuent généralement la quantité sécrétée de tous les acides gras et entraînent des modifications de la composition des matières grasses du lait variables suivant les auteurs. Ainsi, d'après KING et HEMKEN (1962), JORGENSEN, SCHULTZ et BARR (1965), DAVIS et SACHAN (1966), OPSTVEDT et RONNING (1967), les proportions des acides gras courts et de l'acide stéarique d'écroissent. En ce qui concerne l'acide palmitique et les acides gras insaturés les résultats obtenus par différents auteurs ne sont pas identiques : pour les uns la proportion de l'acide palmitique diminue et celle des acides gras polyinsaturés s'accroissent (KING et HEMKEN, 1962 - BROWN, STULL et STOTT, 1962 - JORGENSEN, SCHULTZ et BARR, 1965 - DAVIS et SACHAN, 1966); pour les autres l'acide palmitique augmente et l'acide oléique diminue (PALMQUIST, SMITH et RONNING, 1964). Contrairement aux autres

Tableau 3

INFLUENCE D'UN APPORT SUPPLEMENTAIRE DE MATIERES GRASSES SUR LA COMPOSITION DES LIPIDES DU LAIT

D'après (1) KUZDZAL-SAVOIE, 1964
(2) BROWN et al., 1962

Apport supplémentaire de lipides sous forme de :	Acides gras apportés	Variation de la composition du lait	
		Augmentation	Diminution
Coprah (1)	C_{12}	C_{12} et C_{14}	C_{16} , C_{18} saturé et insaturés
Soja (1)	$C_{18:2}$	C_{18} saturé et insaturés	C_{14} et C_{16}
Lin (1)	$C_{18:3}$	C_{18} saturé et insaturés	C_{10} , C_{12} , C_{14} et C_{16}
Suif (2)	C_{16} , C_{18} et $C_{18:1}$	C_{18} et $C_{18:1}$	C_{12} , C_{14} et C_{16}
Huile de coton (2)	$C_{18:2}$	C_{18} et $C_{18:1}$	C_{12} , C_{14} et C_{16}

auteurs BROWN, STULL et DAFAALA (1966) observent que les rations à base de concentré provoquent une augmentation de la proportion des acides gras courts.

b) Les rations à base d'aliments broyés et agglomérés (condensés)

La distribution des aliments condensés provoque une modification de la composition en acides gras des matières grasses du lait semblable à celle des rations à base de concentré, mais les variations sont moins marquées. Le pourcentage de l'acide stéarique diminue (KING et HEMKEN, 1962 - PALMQUIST, SMITH et RONNING, 1964) ou augmente (SMITH et al., 1966). DRONAWAT et al. (1966) trouvent des valeurs très élevées pour l'acide palmitique.

c) Apport important d'acides gras polyinsaturés

L'apport en quantité importante d'huiles dans la ration des vaches laitières, provoque une diminution du taux butyreux; cela a été montré avec l'huile de foie de morue riche en acides gras longs polyinsaturés supérieurs à C_{18} (SHAW et ENSOR, 1959) ou avec l'huile de coton riche en acide linoléique (BROWN, STULL et STOTT, 1962). Il en est de même pour un apport d'acide linoléique (SHAW et ENSOR, 1959).

Au contraire les rations riches en acide linolénique, telle que l'herbe ne diminuent pas la teneur en matières grasses du lait (HAWKE, 1963).

L'introduction des acides gras polyinsaturés (quel que soit le degré de la désaturation) a pour effet de diminuer la proportion des acides gras courts et d'augmenter celle des acides gras longs (SHAW et ENSON, 1959 - BROWN, STULL et STOTT, 1962) (cf. discussion des résultats).

En conclusion, la composition en acides gras des matières grasses du lait est capable de varier dans de très grandes proportions ce qu'illustrent les tableaux 2 et 4.

.../...

Tableau 4

INFLUENCE DES FACTEURS ALIMENTAIRES SUR LA COMPOSITION EN ACIDES GRAS DES MATIERES GRASSES DU LAIT

Auteurs	LUICK et SMITH, 1963		JORGENSEN et al., 1965		PALMQUIST et al., 1964		Présente étude	
	I*	II*	I	II	I	II	I	II
Régime alimentaire	Alimentation Normale	Jeûne depuis 5 jours	Luzerne ad libitum concentré 8 kg	Concentré maïs + farine de maïs + épis	Foin long + concentré	Foin condensé + concentré	Foin de luzerne Ensilage Betteraves Concentré	Herbe verte ray-grass 3ème semaine
Race**	H		H - J - A	H - J - A	J - H	J - H	F	F
Acides gras courts	13,9	3,4	19,72	14,83	12,66	14,07	15,8	10,4
Acide myristique	11,6	2,2	11,90	12,60	12,55	13,53	12,4	10,0
Acide palmitique	35,2	25,4	24,50	19,75	36,49	36,28	35,1	24,3
Acide stéarique	6,4	11,6	11,94	6,66	8,51	5,50	5,0	11,2
Acide oléique	17,5	45,7	24,11	27,70	17,64	14,83	14,2	29,4

* I - Période pré-expérimentale
II - Période expérimentale

** H - Holstein
J - Jersiaise
A - Airshir
F - Frisonne-Française-Pie-noire

Deuxième partie

ETUDE EXPERIMENTALE

I - MATERIEL ET METHODES

1 - MESURES SUR LES ANIMAUX

Cette étude a été faite sur les vaches du troupeau expérimental de la Station de Recherches sur les Ruminants au Centre National de Recherches Zootechniques de Jouy-en-Josas au cours du printemps 1965 (16 vaches conduites dans les étables de Jouy et de La Minière), puis au Centre de Recherches Zootechniques et Vétérinaires de Theix au cours des années 1966, 1967 et 1968 sur 42 vaches. Ces animaux étaient de racœ Frisonne-Pie-noire, Normande et Pie-rouge; les caractéristiques des différents lots seront données lors de chaque expérience.

Dans les 3 Stations, les vaches étaient en stabulation entravée avec auge et abreuvoir individuels. On a mesuré chaque jour pour chacune d'elles :

1) la quantité de matière sèche de chaque aliment ingéré par différence entre les quantités offertes et refusées;

2) la quantité de lait produite à chaque traite par pesée;

3) la teneur en matières grasses, par la méthode GERBER, sur un échantillon représentatif des 2 traites de la journée; on en déduit la quantité de matières grasses.

Les animaux ont été pesés une fois par semaine à jour et heure fixes.

.../...

2 - METHODES D'ANALYSE DES MATIERES GRASSES

La méthode générale consiste à estérifier les acides et à analyser le mélange d'esters par chromatographie en phase gazeuse.

A - ANALYSE DES ESTERS METHYLIQUES

Au cours des dix dernières années la majorité des auteurs ont choisi l'analyse des esters méthyliques (SMITH, 1961 - DE MAN, 1964 - GLASS, JENNESS et TROOLIN, 1965 - GLASS et TROOLIN, 1966 ...). La séparation de ces esters est facile, donne des résultats satisfaisants avec les acides gras longs et permet un dosage rapide. Les résultats sont moins bons pour les acides gras à courte chaîne car le temps de rétention de leurs esters méthyliques est à peu près le même et il n'est donc pas possible de les séparer. De plus, ces esters sont en partie volatils et solubles dans l'eau et en conséquence on n'en dose qu'une partie. Les résultats sont donc erronés en raison de la mauvaise séparation et de la perte d'une partie des esters au cours de la préparation et de la conservation.

Les inconvénients de cette méthode sont particulièrement graves dans le cas des matières grasses du lait qui contiennent une proportion élevée d'acides gras à courte chaîne; c'est pourquoi dans la plupart des articles publiés sur la composition en acides gras du lait les résultats sont donnés à partir de l'acide caproïque (C_6) ou caprylique (C_8).

Cette méthode a fait l'objet de plusieurs améliorations. Pour éviter les pertes par volatilité ou solubilité, SMITH (1961) extrait les esters méthyliques des acides gras volatils d'un mélange aqueux avec le chlorure d'éthyle et de plus, pour tenir compte des pertes qui existeraient malgré tout, il propose l'application de coefficients de correction sur l'aire des pics du chromatogramme. Pour diminuer également les pertes DE MAN (1964) propose la préparation des esters méthyliques dans une ampoule fermée et en milieu saturé en sel. Pour faciliter la séparation des esters méthyliques des acides gras courts DE MAN (1964) et KERKHOVEN et DE MAN (1966)

analysent ces esters en programmant la température des colonnes. Les difficultés de séparation des esters méthyliques et les améliorations apportées à cette méthode ont été rapportées en détail par GLASS et al. (1966).

B - ANALYSE DE DEUX ESTERS

Les caractéristiques différentes des esters éthyliques et butyliques ont amené certains chercheurs à doser les acides gras du lait sous forme de ces esters : les esters éthyliques et butyliques des acides gras à courte chaîne sont beaucoup moins volatils que leurs esters méthyliques; de plus, les esters butyliques ne sont pas solubles dans l'eau; mais les esters éthyliques sont solubles dans l'alcool et étant donné le volume d'alcool nécessaire pour l'estérification, une partie de ces esters est perdue.

Certains auteurs effectuent deux analyses chromatographiques, l'une avec des esters méthyliques, l'autre avec des esters éthyliques en programmant la température des colonnes de 60 à 195°C (GLASS et al., 1965). GANDER et al. (1962) effectuent deux analyses avec des esters méthyliques et butyliques en isothermie. C'est cette méthode que nous avons utilisée dans la deuxième expérience. La figure 1 montre le chromatogramme obtenu avec des esters méthyliques et la figure 2 le chromatogramme obtenu avec des esters butyliques; les esters sont séparés sur un appareil Aérograph, modèle A 350 B, muni d'un détecteur à catharomètre, dont le signal est transmis à un enregistreur Honeywell équipé d'un intégrateur.

Pour les acides gras courts, nous avons analysé les esters butyliques sur des colonnes d'apiezon-L dont les caractéristiques sont les suivantes : longueur 1,5 mètre, diamètre 6,4 mm, température 220°C. Dans ces conditions nous avons pu séparer les acides gras courts de C_2 à C_{12} inclus en 12 minutes. L'intervalle de temps de rétention de C_{12} et de C_{14} permettait 3 injections consécutives. Il était nécessaire ensuite d'attendre 1 h 1/2 pour que les autres esters auxquels nous ne nous intéressions pas sortent de la colonne.

Fig. 1 - SEPARATION DES ESTERS METHYLIQUES DES ACIDES GRAS DU LAIT PAR CHROMATOGRAPHIE EN PHASE GAZEUSE, EN ISOTHERMIE

TEMPERATURE DE LA PHASE STATIONNAIRE 180°

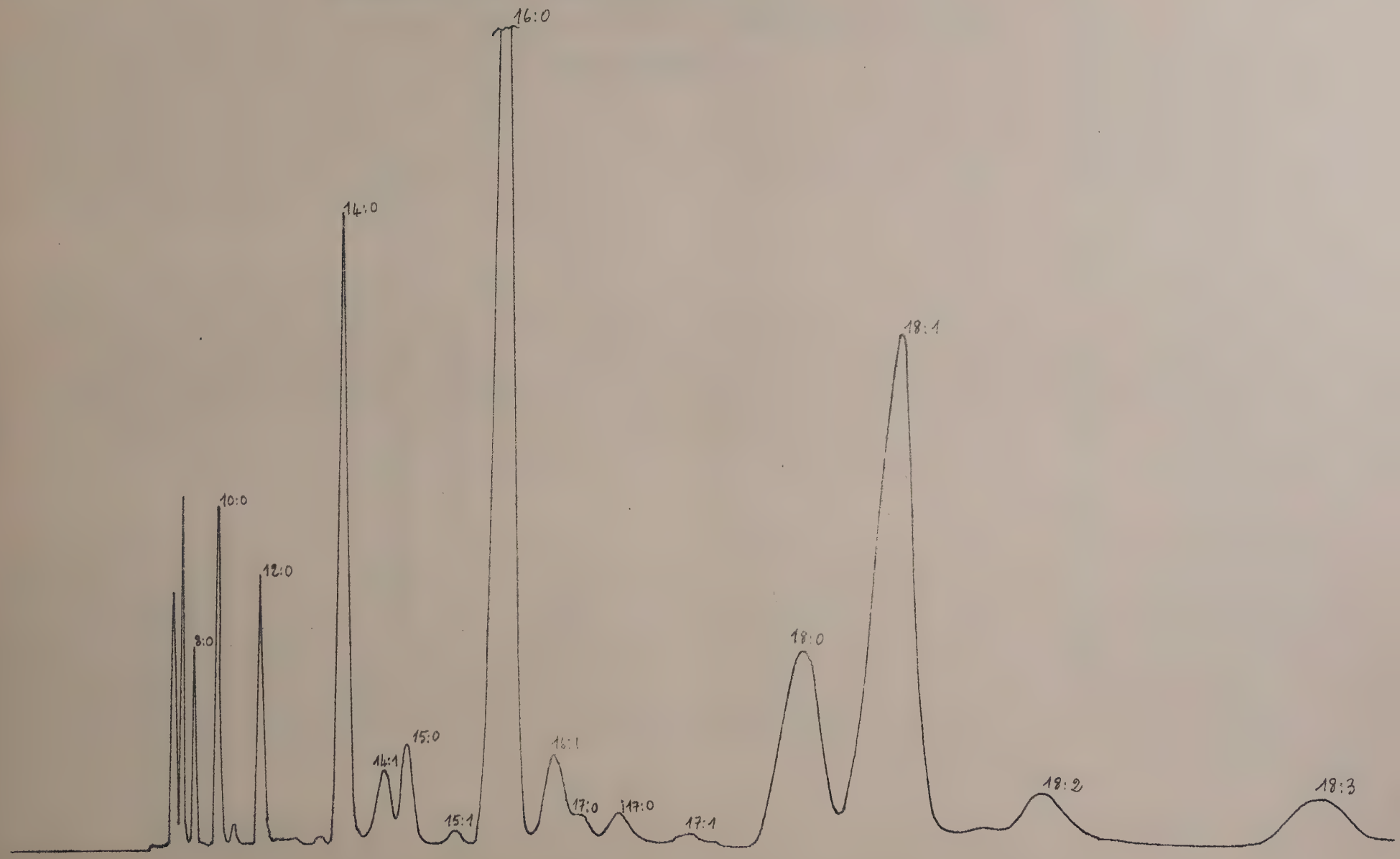
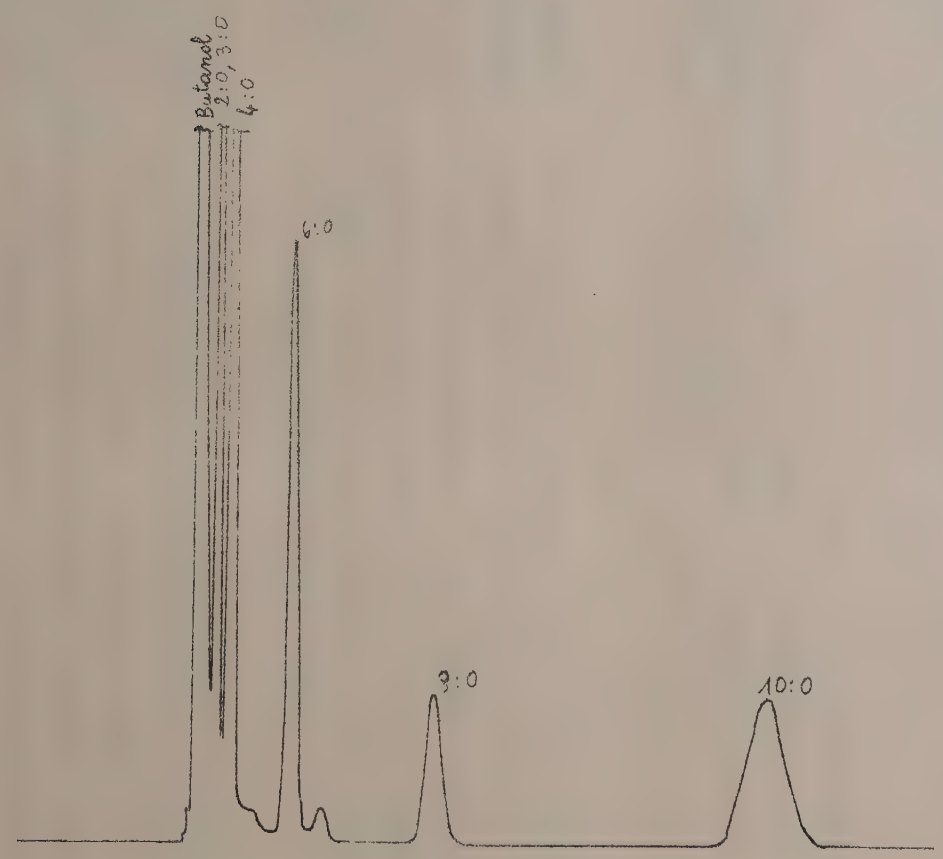


Fig. 2 - SEPARATION DES ESTERS BUTYLIQUES DES ACIDES GRASCOURTS DU LAIT, DE C_2 A C_{10}, EN ISOTHERMIE. TEMPERATURE DE LA PHASE STATIONNAIRE 220°



Les acides gras supérieurs à C_{10} sont séparés sous forme d'esters méthyliques sur les colonnes de diethylene-glycol-succinate (D.E.G.S.) : longueur 3 mètres, diamètre 6,4 mm, température 180°C; la durée de séparation est de 35 minutes. Pour les acides gras à 4, 6 et 8 atomes de carbone, nous avons retenu les résultats d'analyse des esters butyliques, que nous avons rapportés au pourcentage d'esters méthyliques en C_{10} puisque l'ester de cet acide se trouve en proportion égale à la fois sur les deux chromatogrammes. L'analyse de deux esters méthylique et butylique n'est pas parfaite car elle nécessite deux analyses.

Pour éviter les causes d'erreurs dues à la solubilité et à la volatilité des esters méthyliques des acides gras courts, CLEMENT et BEZARD (1961) analysent les esters butyliques des acides gras du beurre en deux étapes, à deux paliers de température, 115°C pour les acides gras courts et 195°C pour les acides gras longs. Cette méthode convient bien pour analyser les acides gras des triglycérides du lait, mais l'analyse en deux étapes est laborieuse.

Pour réduire au minimum les causes d'erreurs et pour avoir les résultats de tous les acides gras sur un seul chromatogramme, nous avons choisi d'analyser les esters butyliques en programmant la température des colonnes de 100° à 180°.

Alors que notre technique était au point, nous avons pris connaissance d'une publication de SAMPUBNA et al. (1966) relative à l'analyse des matières grasses du lait selon une méthode semblable.

C - ANALYSE DES ESTERS BUTYLIQUES EN PROGRAMMATION DE TEMPERATURE

a) Préparation des esters.

Les esters ont été préparés selon la méthode de CLEMENT et BEZARD (1961) par transestérification des triglycérides d'huile de beurre (0,2 à 0,3 g) en présence de butanol (1 ml) et acide sulfurique (2 à 3 gouttes).

La réaction s'effectue en trois heures dans une fiole fermée plongée dans un bain-marie bouillant. Après refroidissement, on ajoute 3 ml d'une solution de carbonate de potassium à 5 p.100 et on centrifuge. La phase supérieure (phase alcoolique) qui contient les esters est séchée sur sulfate d'ammonium.

b) Chromatographie.

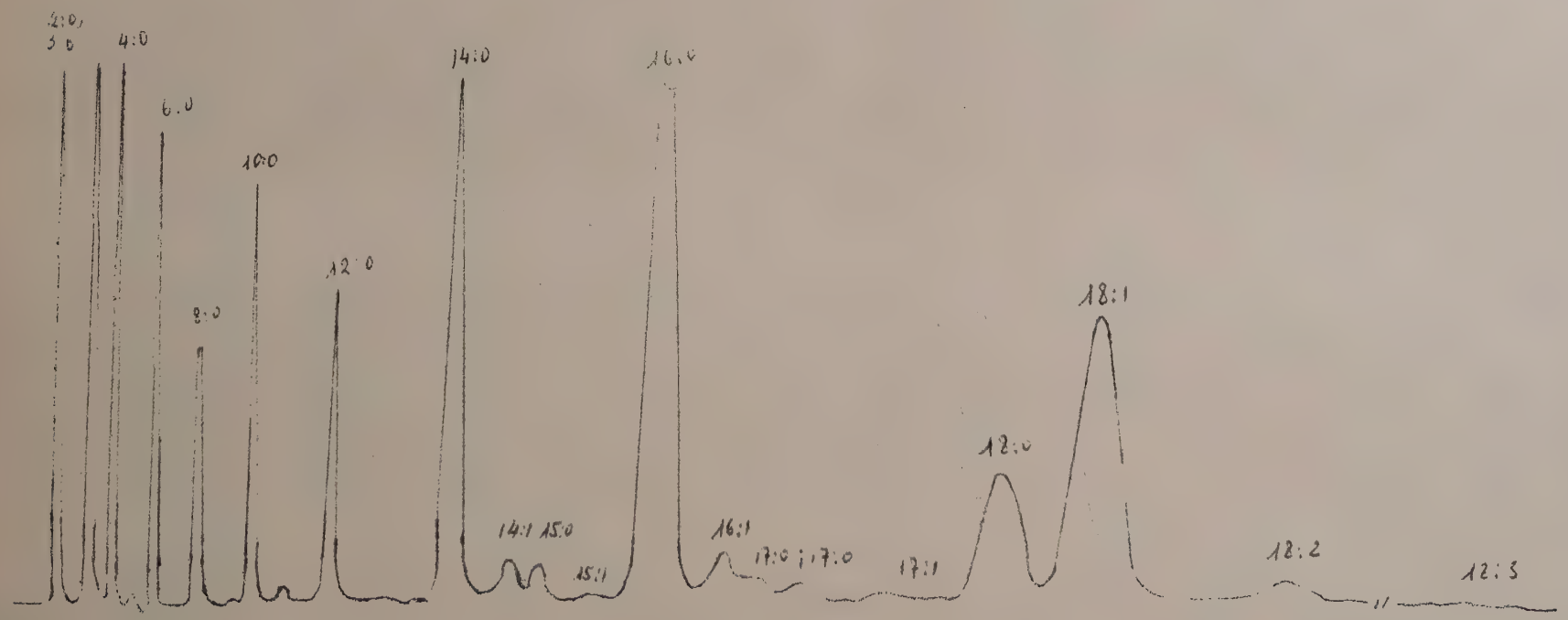
Les esters sont analysés sur un appareil Aérograph modèle 200 muni d'un détecteur à ionisation de flamme; ce détecteur est beaucoup plus sensible que les détecteurs à catharomètre bien que d'entretien plus difficile; le coût d'analyse est moins élevé car le gaz vecteur est l'azote au lieu de l'hélium ou l'hydrogène. Mais l'emploi de ce dernier bien que peu onéreux est dangereux.

Nous avons étudié le remplissage des colonnes avec différentes phases stationnaires : carbowax; silicones, apiezon-L et D.E.G.S. Des résultats satisfaisants sont obtenus avec la phase stationnaire D.E.G.S. dans la proportion de 20 p.100 sur le chromosorb W 60/80 meshes. La longueur des colonnes est de 1,5 mètre, leur diamètre de 3,2 mm. La température des colonnes est de 100°C au moment de l'injection de l'échantillon et atteint 180°C quelques minutes après l'injection (programmation linéaire 14°C par minute) pour rester constante jusqu'à la fin de la séparation. La température de l'injecteur est de 350°C et celle du détecteur 270°C; le gaz vecteur est l'azote avec un débit de 20 ml/mn. La quantité d'ester butylique injectée est de 0,2 à 0,5 µl. La durée de séparation est de 40 à 45 minutes (figure 3).

c) Identification des pics des différents acides gras : problème posé par les acides gras courts.

Nous avons identifié le pic de chaque acide gras d'après le temps de rétention; nous ne connaissions pas le premier pic, lequel n'avait pas été identifié ni par DE MAN (1961) ni par SAMPUGNA et al. (1966); pour l'identifier nous avons comparé les chromatogrammes obtenus en injectant du

Fig. 3 : SEPARATION DES ESTERS BUTYLIQUES DES ACIDES GRAS DU LAIT, EN PROGRAMMATION LINEAIRE DE TEMPERATURE (14° PAR MINUTE) ENTRE 100 ET 180 ° C



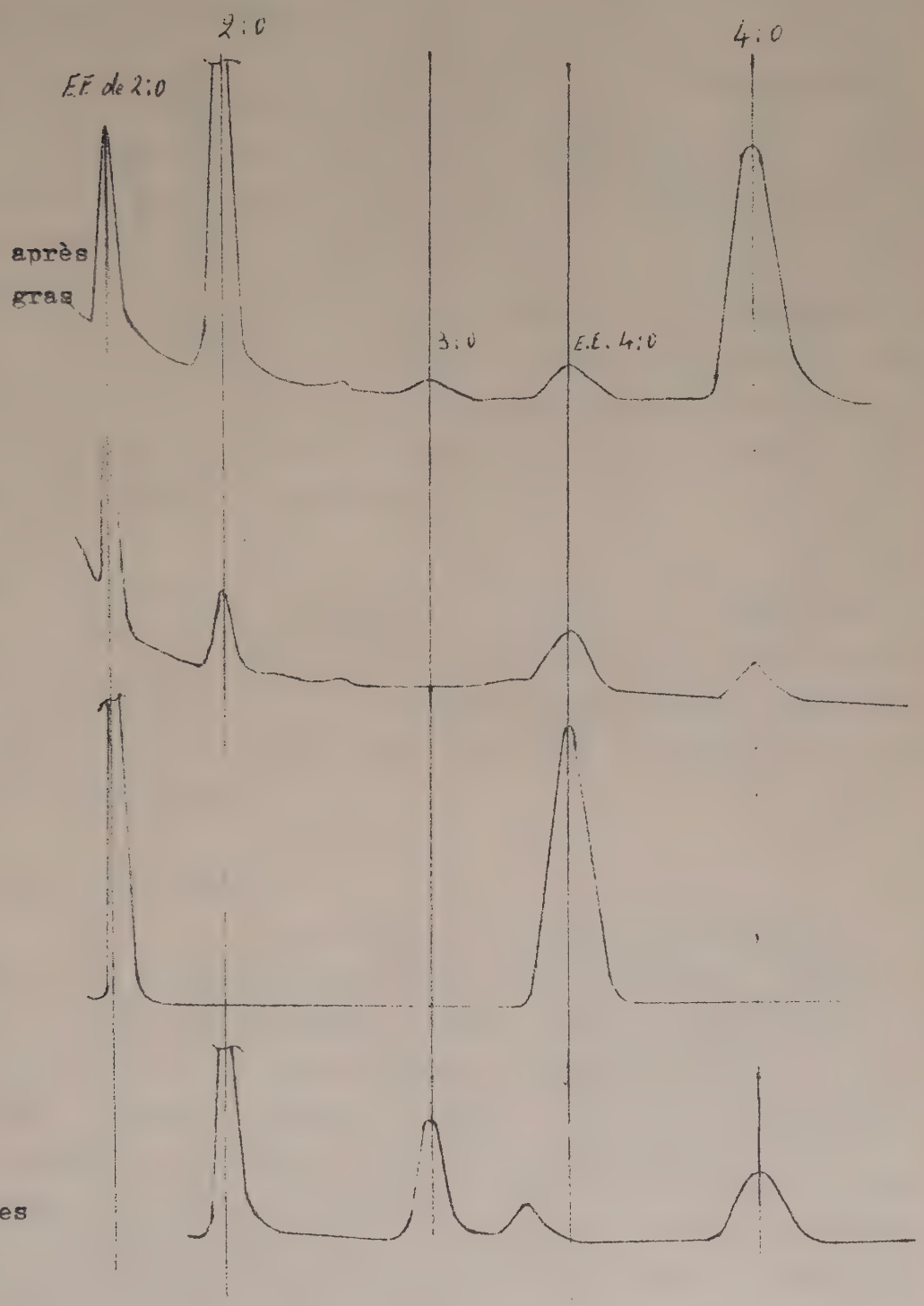
butanol et du butyrate de butyle avec celui des esters butyliques des triglycérides du beurre. Nous avons montré qu'il ne s'agit ni du solvant ni de l'ester de l'acide butyrique.

En analysant les esters butyliques des acides gras du beurre sur les colonnes d'apiezon-L, ce pic sort en deuxième position après celui du butanol; donc ce corps a un poids moléculaire plus grand que celui du butanol, car sur les colonnes non polaires comme celles d'apiezon-L, la séparation est basée sur le poids moléculaire; il est moins polaire que le butanol parce que sur les colonnes polaires (D.E.G.S.) il sort avant ce dernier. Ce corps serait donc un ester butylique d'acides gras à moins de 4 atomes de carbone; il ne peut pas être un acide gras libre à cause du temps de rétention plus élevé des acides gras que de leurs esters.

Nous avons donc cherché à voir s'il s'agissait de l'ester butylique de l'acide acétique ou de l'acide propionique et pour cela nous avons préparé et séparé les esters butyliques des acides acétique, propionique et le mélange des esters de ces deux acides. Nous avons effectivement constaté que les esters butyliques des acides acétique et propionique donnaient un pic au même endroit sans qu'il soit possible de les différencier. Il était donc probable que les graisses du lait contenaient l'un ou l'autre de ces acides ou les deux à la fois. D'ailleurs HAWKE (1957) et DE JONGE et al. (1961a-1961b) avaient signalé la présence d'acide acétique dans les graisses du lait. Nous avons vérifié cette présence de la façon suivante : 2 g de beurre ou l'huile de beurre, ont été saponifiés avec 50 ml de potasse alcoolique dans un bain d'huile à 100°C en 30 minutes; la neutralisation des savons formés et la libération des acides gras ont été réalisées par 13 ml de HCL pur. L'analyse de deux phases de la solution obtenue a été effectuée sur des colonnes de silicone qui permettent une bonne séparation des acides acétique et propionique. La comparaison des chromatogrammes obtenus avec celui des acides gras purs montre que la phase supérieure n'est pas constituée par des acides mais par des esters éthyliques d'acides acétique et butyrique. La phase inférieure contient à la fois les acides gras libres et leurs esters éthyliques : acétique, propionique, butyrique .. (figure 4).

.../...

Fig. 4 : COMPARAISON DES CHROMATOGRAMMES DES ACIDES GRAS LIBRES DU LAIT (INFERIEURS A C_4) ET DE MELANGES D'ACIDES GRAS PURS



1/ Phase inférieure après adjonction d'acides gras purs C_2 et C_4

2/ Phase inférieure

3/ Phase supérieure

4/ Mélange des acides gras purs.

Donc le pic serait constitué par les esters butyliques des acides acétique et propionique; cependant, les quantités que nous trouvons pour le premier pic sont beaucoup plus élevées que celles observées par HAWKE (1957) et par DE JONGE et al. (1961a-1961b).

d) Intérêt de la programmation de température et précision des mesures.

Différents auteurs ayant signalé que la précision des mesures quantitatives d'acides gras était plud faible en programmant la température qu'en opérant en isothermie, nous avons comparé ces deux méthodes. Avec un échantillon des esters butyliques des matières grasses du lait nous avons réalisé 5 chromatogrammes en isothermie (180°C) et 5 chromatogrammes en programmation de température (de 100°C à 180°C). Nous avons calculé la proportion de chaque acide gras sur les chromatogrammes obtenus. Etant donné qu'à 180°C l'acide butyrique n'est pas séparé du solvant, le calcul a été fait pour tous les acides gras supérieurs à C_4 (tableau 5).

L'écart-type des mesures effectuées en isothermie est du même ordre de grandeur que celui observé en programmation de température. Donc la programmation de température n'a pas réduit la précision des mesures et elle présente l'intérêt de bien séparer les premiers pics d'acides gras courts les uns des autres. Ces observations sont d'ailleurs en accord avec celles d'HORNING (1964).

e) Expression des résultats.

Avec les esters méthyliques, la plupart des auteurs expriment les résultats en pourcentages pondéraux d'esters, car le poids moléculaire d'un triglycéride est à peu près égal à la somme des poids moléculaires de 3 esters formés à partir des acides gras de ce glycéride. Cependant, un ester butylique a 4 atomes de carbone de plus que l'acide gras correspondant, donc avec ces esters la surface des pics obtenue est surestimée de 63,6 p.100 pour l'acide butyrique .. et seulement de 19,7 p.100 pour l'acide stéarique; c'est la raison pour laquelle nous avons appliqué des coefficients de correction sur les surfaces des chromatogrammes pour exprimer les résultats en pourcentage d'acide gras (tableau 6). A partir de ce pourcentage et de la

Tableau 5

EFFET DE LA PROGRAMMATION DE TEMPERATURE SUR LA PRECISION DES MESURES

	Isothermie	Programmation
C_6	1,36 ± 0,15	1,24 ± 0,10
C_8	0,88 ± 0,15	0,92 ± 0,08
C_{10}	2,30 ± 0,26	2,16 ± 0,21
C_{12}	3,30 ± 0,26	3,44 ± 0,19
C_{14}	11,28 ± 0,47	11,02 ± 0,40
$C_{16:0}$	30,76 ± 1,79	32,46 ± 1,18
$C_{16:1}$	5,92 ± 0,57	5,90 ± 0,18
$C_{18:0}$	3,80 ± 0,95	3,22 ± 0,40
$C_{18:1}$	22,72 ± 0,43	21,88 ± 0,71
$C_{18:2}$	5,0 ± 0,43	5,04 ± 0,62

Tableau 6

ES COEFFICIENTS DE CORRECTION ET DE TRANSFORMATION DES ESTERS BUTYLIQUES EN ACIDES GRAS

	Poids moléculaire d'acide	Poids moléculaire d'ester	P.M. d'acide / P.M. d'ester
C_2	60	116	0,517
C_4	88	144	0,611
C_6	116	172	0,674
C_8	144	200	0,720
C_{10}	172	228	0,754
C_{11}	186	242	0,769
C_{12}	200	256	0,781
C_{14}	228	284	0,803
$C_{14:1}$	226	282	0,801
C_{15}	242	296	0,818
$C_{15:1}$	240	294	0,816
C_{16}	256	312	0,821
$C_{16:1}$	254	310	0,819
C_{17}	270	326	0,828
$C_{17:1}$	268	324	0,827
C_{18}	284	340	0,835
$C_{18:1}$	282	338	0,834
$C_{18:2}$	280	336	0,833
$C_{18:3}$	278	334	0,832

teneur en matières grasses du lait nous avons estimé la concentration de chaque acide gras en g par kg de lait. Pour cela nous avons admis que les triglycérides représentaient la totalité des graisses du lait et calculé sur 5 échantillons que les acides gras constituaient 88,5 p.100 de ces triglycérides. KUZDZAL-SAVOIE (1964) estime que le glycérol constitue environ 10 p.100 des glycérides du lait; cette différence est sans doute due à la perte des acides gras courts pendant la méthylation et à la conservation des esters méthyliques.

La teneur en acides gras du lait est calculée à partir de la formule 1 et la quantité journalière produite à partir de la formule 2 :

1) $$\frac{T.M.G. \times 88,5 \times c}{100}$$

2) $$\frac{Q. \times 88,5 \times c}{100}$$

T.M.G. = Teneur en matières grasses du lait par la méthode de GERBER.

c = Proportion pondérale de l'acide gras

Q = Quantité de matières grasses journalière.

II - EVOLUTION DE LA COMPOSITION EN ACIDES GRAS DES MATIERES GRASSES DU LAIT AU DEBUT DE LA LACTATION : Influence de l'état nutritionnel

INTRODUCTION

Au début de la lactation la sécrétion des différents composants du lait, en particulier la sécrétion de matières grasses, évolue rapidement. La quantité de matières grasses sécrétée augmente généralement jusqu'à la deuxième semaine de la lactation; la teneur en matières grasses est le plus souvent maximum tout de suite après vêlage et diminue rapidement (JOURNET et JARRIGE, 1960 - DECAEN et POUTOUS, 1965).

Pendant les quelques jours qui suivent le vêlage les besoins énergétiques et azotés de la vache augmentent. Au cours de cette période l'appétit des animaux ne s'accroît pas dans les mêmes proportions (JOURNET, résultats non publiés); les fortes productrices sont en état de sous-nutrition (JOURNET et JARRIGE, 1960) et l'équilibre du bilan énergétique se fait grâce à la mobilisation des réserves corporelles.

DECAEN et ADDA (1966), DECAEN et JOURNET (1967) ont observé que la composition en acides gras des matières grasses du lait change également : la proportion des acides gras longs ($C_{18:0}$ et $C_{18:1}$) est maximum la première semaine et diminue au cours des 6 semaines après la mise bas; la proportion des acides gras courts varie en sens inverse. Pour DECAEN et ADDA (1966) après les 6 premières semaines, la composition en acides gras des matières grasses ne varie plus alors que STULL et al. (1966) observent que l'évolution se poursuit pendant une période beaucoup plus longue (environ 30 semaines) mais de façon beaucoup plus lente.

La proportion élevée des acides gras longs semble être le résultat de la mobilisation des réserves lipidiques car elle correspond à une proportion élevée d'acides gras libres dans le sang (DECAEN et JOURNET, 1967). Inversement, ces auteurs ont trouvé une évolution tout à fait différente de la composition en acides gras chez deux vaches ayant vêlé prématurément qui produisaient une quantité de lait inférieure à celle de leur lactation précédente, et se trouvaient de ce fait suralimentées au début de la lactation. Il était donc intéressant d'étudier l'influence de l'état nutritionnel sur la composition en acides gras des matières grasses du lait chez les animaux vêlant normalement; c'est ce que nous avons expérimenté sur 6 vaches.

PROTOCOLE EXPERIMENTAL

A l'intérieur du troupeau de vaches du C.R.Z.V., nous avons choisi 8 vaches (de race Frisonne-Pie-noire); d'après leur production et leur appétit à la lactation précédente, les unes devaient avoir leurs besoins couverts très tôt après vêlage et les autres être presque toujours en état de sous-nutrition, du fait soit de leur appétit faible, soit de leur production trop

élevée. Pour l'analyse définive nous avons retenu 6 vaches formant deux lots de 3 selon leur état nutritionnel que, dans la suite de l'exposé, nous désignerons par "lot en bilan négatif" et "lot en bilan équilibré", bien que les vaches de ce dernier lot soient légèrement sous-alimentées. Les caractéristiques de ces animaux sont portées dans le tableau 7. Nous n'avons pas tenu compte des deux autres vaches car elles avaient une position intermédiaire.

La ration de base était constituée de foin, d'ensilage de bonne qualité, distribués tous deux à volonté, et de pulpes de betteraves (5 - 10 - 15 et 20 kg, successivement au cours des 4 premières semaines). L'aliment concentré a été distribué en quantité croissante (de 1 - 2 - 3 et 4 kg) au cours des 4 semaines avant la mise bas; les quantités ont été accrues après vêlage en essayant de couvrir les besoins énergétiques et azotés des animaux lorsque leur appétit le permettait (tableau 8).

L'analyse des matières grasses a été effectuée sur un échantillon de lait de 2 à 3 kg représentatif des deux traites du 1er jour (2ème et 3ème traites) et des 3 - 7 - 14 - 21 - 18 - 35 et 42ème jours après la mise bas.

RESULTATS

BILAN ENERGETIQUE

Le bilan énergétique est calculé d'après les quantités ingérées, la valeur énergétique des aliments et les besoins des animaux (entretien + production). La valeur énergétique des aliments a été estimée à partir du coefficient de digestibilité du foin mesuré sur mouton et à partir de leur composition chimique pour les autres aliments.

Le niveau de production laitière des animaux en bilan négatif a été élevé; la production maximum du lot a été de 34 kg à la 4ème ou 5ème semaine. La teneur en matières grasses, de 44,1 g p.1000 à la 1ère semaine, a diminué très nettement au cours des 6 semaines après le vêlage

Tableau 7

CARACTERISTIQUES DES VACHES

Etat nutritionnel	Vache N°	Date de vêlage	N° de lactation	Production maximum		Taux butyreux (g p.1000)	
				semaine	kg/jour	1ère semaine	6ème semaine
Lot en bilan négatif	0056	24/2/67	4	5	39,4	57,6	24,3
	241	26/2/67	10	4	29,7	37,7	30,1
	9030	20/2/67	5	5	32,9	37,8	29,0
Lot en bilan équilibré	53	10/2/67	10	6	14,0	43,0	36,7
	2493	28/2/67	2	3	28,6	40,4	40,3
	3161	5/3/67	2	2	26,5	42,3	40,7

Tableau 8

EVOLUTION AU COURS DES 6 PREMIERES SEMAINES DE LA LACTATION
DE LA QUANTITE DE LAIT PRODUITE ET DES QUANTITES INGEREES
(à partir de 4 semaines avant vêlage)

	Semaines par rapport au vêlage	Production kg/j		Quantité ingérée (kg de matière sèche/j)		
		lait	lait 4 p.100	foin + ensilage	aliment concentré	ration totale
LOT EN BILAN NEGATIF	- 4			10,97	0,51	11,48
	- 3			9,50	1,30	10,80
	- 2			7,65	2,79	10,44
	- 1			6,50	3,40	9,90
	1	20,2	21,6	5,48	5,14	10,62
	2	26,4	23,6	7,62	6,88	14,50
	3	28,1	25,0	6,70	9,98	16,68
	4	33,1	28,0	6,45	11,54	17,99
	5	33,9	27,8	6,43	10,88	17,31
	6	32,5	27,1	6,80	10,24	17,04
LOT EN BILAN EQUILIBRE	- 4			10,35	1,04	11,39
	- 3			9,66	2,16	11,82
	- 2			9,19	3,18	12,37
	- 1			5,87	3,06	8,93
	1	16,8	17,1	8,09	5,33	13,42
	2	21,5	21,4	9,30	6,52	15,82
	3	21,5	20,6	6,97	8,06	15,03
	4	21,4	20,1	6,73	8,88	15,61
	5	21,3	19,7	8,57	8,51	17,08
	6	19,7	18,0	10,58	7,84	18,42

(de 16 g p.1000); la quantité de matières grasses produite par jour est restée pratiquement constante au cours des 3 premières semaines de la lactation (900 g) et a augmenté de 6 p.100 par la suite. Au cours des 3 premières semaines les animaux de ce lot ont été très nettement en déficit énergétique (figure 5)(7 425 calories d'énergie nette NKF par jour et par vache durant la 1ère semaine) et de ce fait ont perdu environ 50 kg de poids vif en trois semaines.

Les animaux du lot en bilan équilibré avaient un niveau de production modéré; la production maximum du lot a été en moyenne de 22 kg. La teneur en matières grasses de 41,9 g p.1000 à la 1ère semaine, a diminué légèrement ensuite (6 g p.1000). La quantité de matières grasses a augmenté de 180 g (soit 26 p.100) au cours de la 2ème semaine après la mise bas et a diminué légèrement durant les 4 semaines suivantes (figure 6). Au cours des deux premières semaines les animaux de ce lot ont été légèrement sous-alimentés (figure 5) (1 980 calories NKF par jour et par vache au cours de la première semaine) et ont perdu environ 20 kg de poids en 3 semaines.

La perte de poids corporel est certainement plus importante du fait qu'au début de la lactation le poids du contenu digestif augmente parallèlement à l'augmentation de la quantité d'aliments ingérée (JOURNET, résultats non publiés). Cette perte est due en grande partie à la mobilisation des réserves lipidiques; c'est ainsi que la concentration en acides gras libres du sang dans la période de sous-nutrition est significativement ($P < 0,05$) plus élevée (800 à 1 400 et 400 à 800 µeq/l au cours de la 1ère semaine, respectivement pour les animaux en bilan négatif et ceux "en bilan équilibré") que dans la période d'équilibre du bilan énergétique (300 à 600 et 200 à 600 µeq/l respectivement - figure 7).

SECRETION DES GRAISSES DU LAIT

La composition des graisses du lait et son évolution sont différentes pour les deux lots. Elles présentent une proportion plus élevée en acides gras longs (significativement) et une proportion plus faible en acides

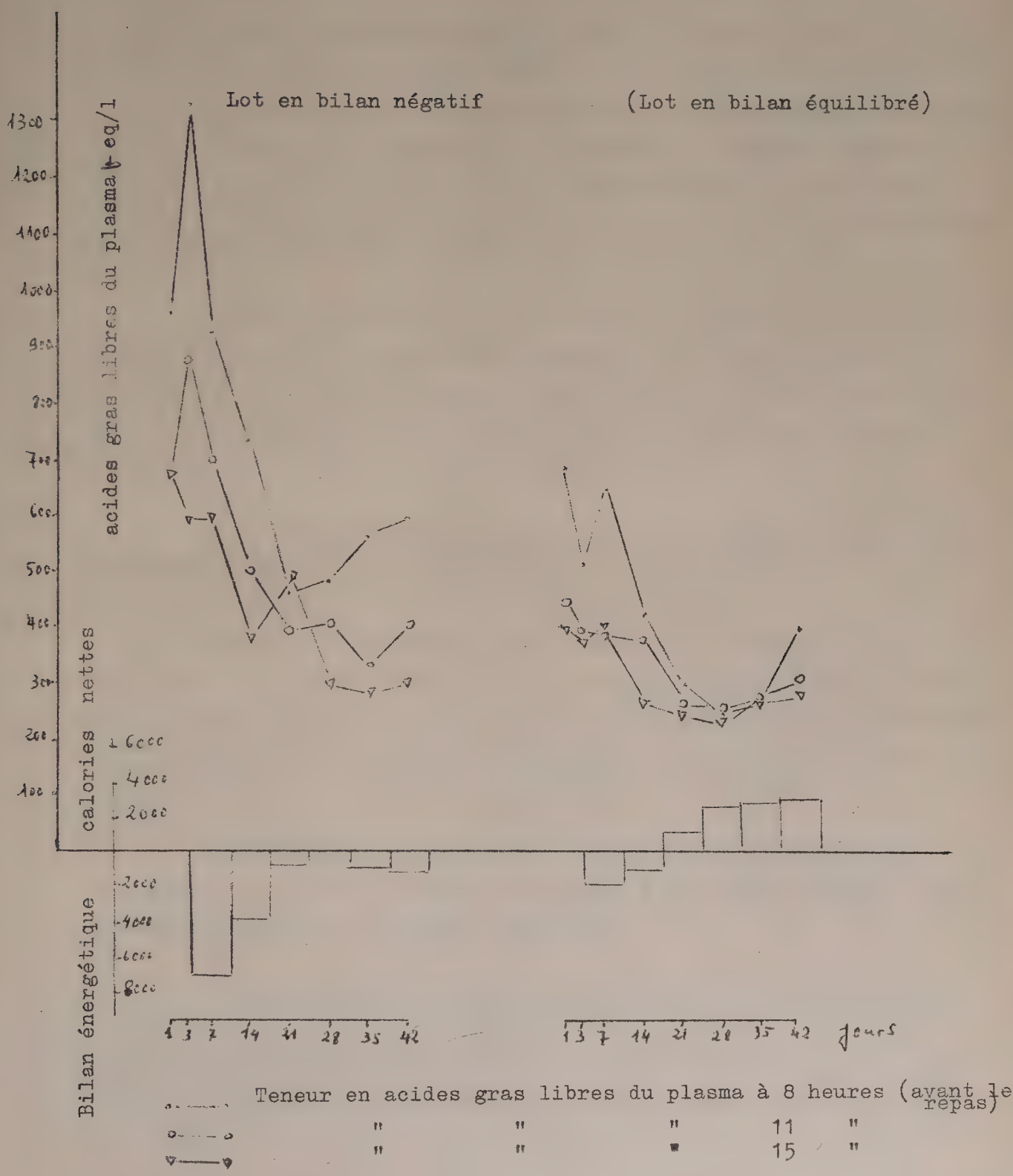
[illegible] s les [illegible] de ce lot ont été [illegible]

(1 000 coureurs MKF par jour et p.r vrobe au cours de la [illegible]

et ont perdu environ 20 kg de poids en 1 semaine.

La perte de poids corporel est certainement une importance du fait qu'en dehors de la lutte [illegible] [illegible] [illegible]

Fig. 5 : EVOLUTION DE LA TENEUR EN ACIDES GRAS LIBRES DU SANG ET DU BILAN ENERGETIQUE AU COURS DES 6 PREMIERES SEMAINES DE LA LACTATION



gras courts et palmitique (non significativement) chez les animaux en bilan négatif que chez ceux en bilan équilibré (tableau 9 - figure 7).

Passée la période colostrale, pour les vaches en bilan négatif la proportion pondérale des acides oléique et stéarique a été élevée à la fin de la 1ère semaine (respectivement 26,6 et 10,4 p.100 des acides gras totaux); elle a diminué de façon significative au cours des 4 semaines suivantes (de 6,6 et 3,7 points) (figure 7). Les acides gras courts constituaient 10,8 p.100 des acides gras totaux à la 1ère semaine, ils ont augmenté significativement au cours des 4 semaines pour atteindre 16,3 p.100.

Pour les vaches en bilan équilibré la proportion des acides oléique et stéarique a été faible dès le début de la lactation (respectivement 16,1 et 8,9 p.100 des acides gras totaux) et elle a peu varié ensuite (figure 7). Le pourcentage des acides gras courts, maximum dès la fin de la 1ère semaine, a également peu varié (tableau 9).

La proportion des acides gras ramifiés a augmenté durant les six premières semaines et ceci pour toutes les vaches (tableau 9).

Durant la 1ère semaine, pour des teneurs en matières grasses assez semblables, le lait des animaux en bilan négatif est moins riche en acides gras courts (4,6 g p. 1000 contre 6,4 g p.1000) et plus riche en acides gras longs (respectivement 4,7 et 12,6 contre 3,7 et 6,7 g p.1000 pour $C_{18:0}$ et $C_{18:1}$) que le lait des animaux en bilan équilibré (figure 6).

La diminution importante de la teneur en matières grasses pour les animaux en état de sous-nutrition est due à celle des teneurs en acides palmitique, stéarique et oléique (figure 6).

La quantité sécrétée des acides gras courts, palmitique et stéarique est sensiblement la même pour les deux lots, alors que celle de l'acide oléique est beaucoup plus élevée pour les animaux en bilan négatif que pour les autres (de 50,5 à 83,7 p.100 selon les semaines qui suivent le vêlage - figure 6).

.../...

Fig. 6 : EVOLUTION DE LA TENEUR (6 a) ET DE LA QUANTITE DES ACIDES GRAS DU LAIT (6 b) AU COURS DES 6 PREMIERES SEMAINES DE LA LACTATION

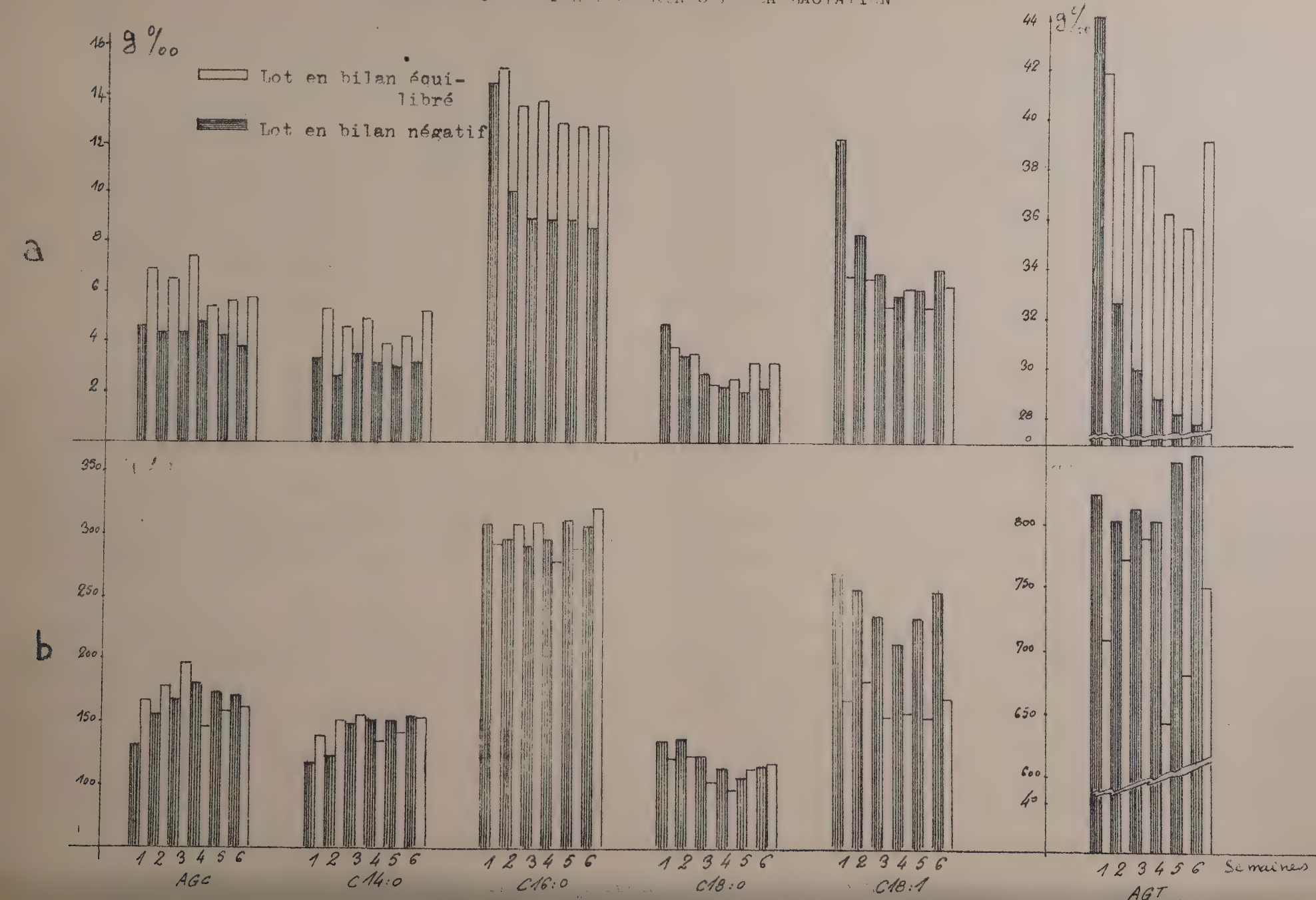


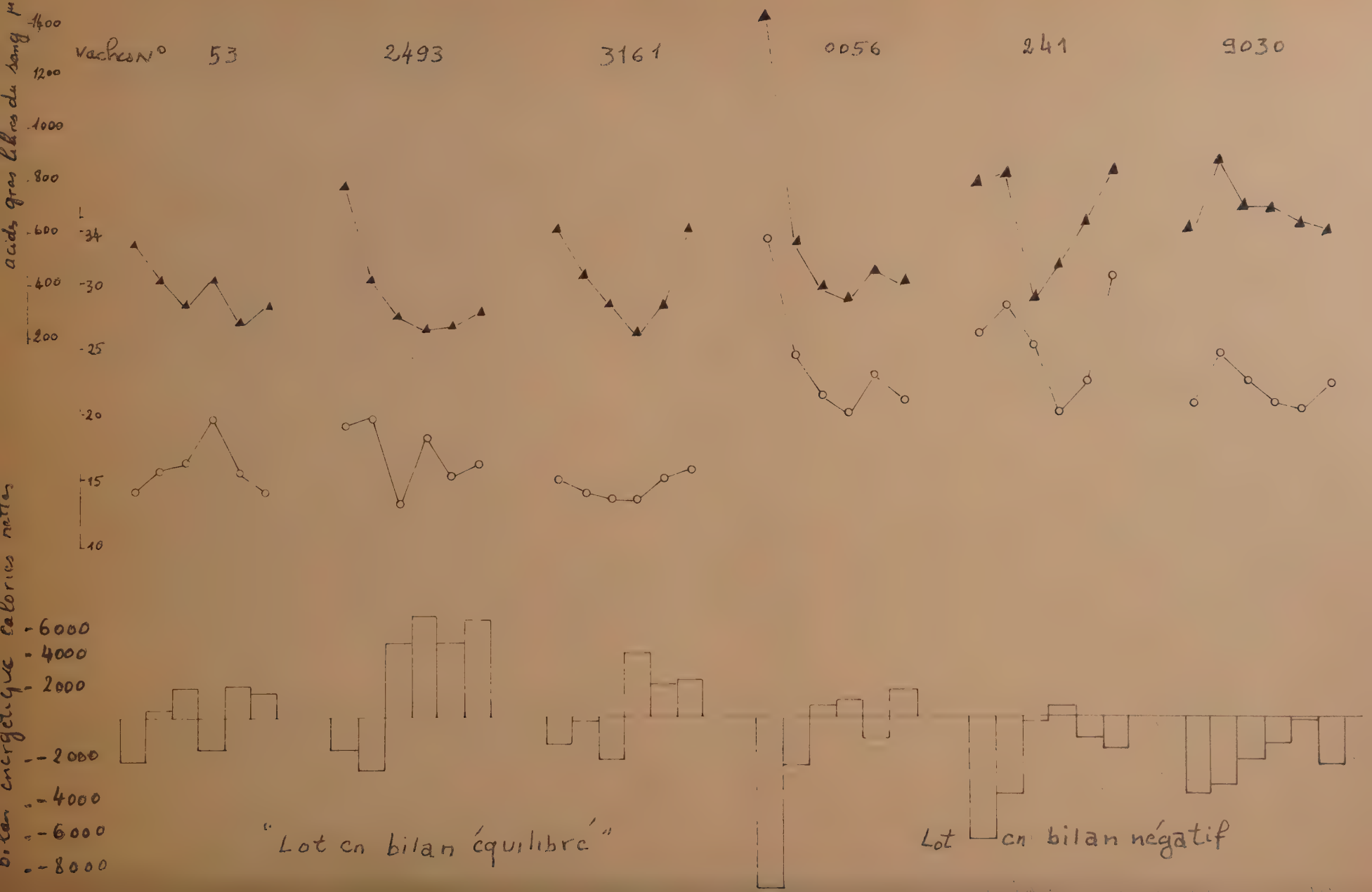
Tableau 9

EVOLUTION DE LA COMPOSITION EN ACIDES GRAS DES MATIERES GRASSES DU LAIT

AU COURS DES 6 PREMIERES SEMAINES DE LACTATION

	VACHES EN BILAN NEGATIF								VACHES EN BILAN EQUILIBRE							
	1er jour	2ème jour	Semaine						1er jour	2ème jour	Semaine					
			1ère	2ème	3ème	4ème	5ème	6ème			1ère	2ème	3ème	4ème	5ème	6ème
C_2 , C_3	2,60	2,58	2,77	3,26	3,07	2,37	1,09	0,81	2,70	2,18	2,49	2,26	1,49	1,10	1,13	1,43
C_4	2,25	3,91	3,68	3,85	3,23	3,98	2,64	2,42	2,45	3,46	3,25	3,33	2,75	2,31	2,54	2,27
C_6	1,47	1,77	2,08	2,46	2,57	2,56	2,19	2,03	1,67	2,47	2,54	2,47	2,48	2,08	2,21	2,20
C_8	0,78	1,22	1,04	1,16	1,65	1,78	1,54	1,49	1,05	1,59	1,63	1,77	1,95	1,47	1,59	1,56
C_{10}	1,70	1,62	1,96	2,66	3,49	3,69	3,66	3,42	2,51	3,58	4,09	3,97	5,36	3,84	4,18	3,85
C_{12}	2,86	2,29	2,08	2,68	3,65	4,33	4,37	4,00	3,46	3,90	4,78	4,57	6,49	4,72	5,09	4,80
C_{14}	12,70	8,91	8,77	8,92	12,04	12,63	11,49	11,62	14,78	12,58	12,90	12,54	14,07	12,79	12,85	13,49
ΣC_{15}	1,51	1,42	1,14	1,95	2,47	2,73	3,73	3,11	2,07	2,38	2,00	2,23	2,55	3,55	3,50	3,63
C_{16}	40,44	33,07	32,77	30,63	29,31	30,46	30,97	29,88	40,81	33,00	35,39	34,08	35,82	35,01	35,12	36,03
$C_{16:1}$	2,78	2,31	1,98	1,97	2,10	1,68	2,86	2,61	2,44	1,81	1,75	1,74	1,61	2,24	1,84	1,74
ΣC_{17}	1,21	2,08	1,89	1,99	2,69	1,76	2,09	2,17	2,11	1,57	1,71	1,98	1,55	2,07	2,11	1,94
C_{18}	6,44	8,89	10,43	10,16	9,03	7,65	6,71	7,67	6,02	9,26	8,88	8,86	6,76	7,25	8,75	8,11
$C_{18:1}$	20,57	27,93	26,62	25,64	22,84	20,06	21,68	24,44	14,23	18,72	16,08	16,60	14,34	17,14	15,25	15,37
$C_{18:2}$	1,70	1,70	1,84	1,71	1,23	2,14	2,10	2,35	1,92	1,83	1,38	1,77	1,16	2,20	1,75	1,57
$C_{18:3}$	0,12	0,28	0,30	0,40	0,26	0,41	0,51	0,28	0,29	0,41	0,26	0,29	0,34	0,34	0,33	0,36
autres	1,04	0,92	0,85	1,55	1,95	1,89	2,93	1,77	1,37	1,54	1,05	1,42	1,66	1,97	1,65	1,54

Fig. 7 - EVOLUTION COMPAREE, AU COURS DES 6 PREMIERES SEMAINES DE LA LACTATION, DE LA PROPORTION D'ACIDE OLEIQUE DANS LE LAIT (o), DE LA CONCENTRATION EN ACIDES GRAS LIBRES DU PLASMA (▲) ET DU BILAN ENERGETIQUE (□) : VALEURS INDIVIDUELLES.



Cependant, la quantité des acides gras courts est plus faible au cours des 3 premières semaines pour les animaux en état de sous-nutrition que pour ceux en bilan équilibré et inversement au cours des trois semaines suivantes. La quantité d'acide palmitique varie peu au cours des 6 premières semaines après vêlage.

Au cours des 3 premières semaines, la quantité des acides gras longs ($C_{18:0}$ et $C_{18:1}$) a diminué et celle des acides gras courts a augmenté; ces variations ont été inverses durant les 2 semaines suivantes et ceci quel que soit l'état nutritionnel. Cependant, l'amplitude des variations est beaucoup plus grande pour les animaux en bilan déficitaire, tout au moins pour l'acide oléique.

LIAISONS OBSERVEES

Nous avons recherché les liaisons intra-individuelles qui existent, au cours des 6 premières semaines (n = 7) de la lactation, entre le niveau de production, le bilan énergétique, la concentration en acides gras libres du sang, la teneur en matières grasses et la composition en acides gras des graisses du lait (tableau 10).

La teneur en matières grasses est étroitement liée au bilan énergétique (r = - 0,71 à - 0,94 selon les animaux) et à la concentration en acides gras libres du sang (r = + 0,45 à + 0,95).

Pour les animaux en bilan négatif, la composition en acides gras des matières grasses est également liée au bilan énergétique (positivement pour les acides gras courts et négativement pour les autres, sauf le C_{16} pour la vache n° 2493), à la concentration en acides gras libres du sang et à la teneur en matières grasses (négativement pour les acides gras courts et positivement pour les autres, sauf le $C_{18:0}$ pour la vache n° 241). Les liaisons observées sont d'autant plus étroites que l'animal est en état de sous-nutrition aigüe (tableau 10). En revanche, pour les animaux en bilan équilibré il n'y a pas de liaison significative entre la composition des graisses

Tableau 10

COEFFICIENTS DE CORRELATION INTRA-INDIVIDUELS
AU COURS DES 6 PREMIERES SEMAINES DE LA LACTATION

	Vache (numéro)		Taux butyreux	Quantité de matières grasses	Acides gras libres dans le sang	Proportion des acides gras dans les matières grasses			
						$< C_{12}$	$C_{16:0}$	$C_{18:0}$	$C_{18:1}$
VACHES EN BILAN	53 n = 6	B.E. (1)	- 0,78*	+ 0,38	- 0,92**	+ 0,06	- 0,09	+ 0,10	- 0,30
		T.B. (2)			+ 0,75*	+ 0,37	+ 0,39	- 0,55	- 0,17
		A.G.L. (3)				+ 0,16	+ 0,38	- 0,23	+ 0,003
EQUILIBRE	2493 n = 7	B.E.	- 0,71*	- 0,005	- 0,80*	+ 0,20	+ 0,72	- 0,61	- 0,71*
		T.B.			+ 0,67	- 0,26	- 0,34	+ 0,45	+ 0,66
		A.G.L.				- 0,29	- 0,42	+ 0,70	+ 0,65
	3161 n = 7	B.E.	- 0,89**	- 0,15	- 0,31	+ 0,03	+ 0,84**	- 0,02	- 0,05
		T.B.			+ 0,45	+ 0,33	- 0,68	- 0,06	+ 0,44
		A.G.L.				- 0,32	- 0,64	+ 0,57	+ 0,60
VACHES EN BILAN	0056 n = 7	B.E.	- 0,94**	- 0,73*	- 0,86**	+ 0,94**	- 0,67	- 0,62	- 0,98**
		T.B.			+ 0,95**	- 0,96**	+ 0,86**	+ 0,64	+ 0,96**
		A.G.L.				- 0,88**	+ 0,84**	+ 0,62	+ 0,91**
	241 n = 7	B.E.	- 0,71*	- 0,20	- 0,65	+ 0,70	- 0,67	+ 0,75*	- 0,57
		T.B.			+ 0,87**	- 0,50	+ 0,39	- 0,63	+ 0,62
		A.G.L.				- 0,67	+ 0,55	- 0,66	+ 0,72*
NEGATIF	9030 n = 7	B.E.	- 0,90**	+ 0,88**	- 0,57	+ 0,98**	- 0,91**	- 0,39	- 0,66
		T.B.			+ 0,56	- 0,87**	+ 0,81*	+ 0,53	+ 0,47
		A.G.L.				- 0,62	+ 0,26	+ 0,18	+ 0,86**

(1) B.E. : Bilan Energétique
(2) T.B. : Taux butyrique
(3) A.G.L. : Acides gras libres

* $P < 0,05$
** $P < 0,01$

du lait et le bilan énergétique, la teneur en matières grasses et la concentration en acides gras libres du sang (sauf entre la proportion des acides gras courts et bilan énergétique pour la vache N° 3161).

CARACTERISTIQUES DES GRAISSES DU COLOSTRUM

Le colostrum du 1er jour (2ème et 3ème traites) est plus riche en acides palmitique et myristique et plus pauvre en acides gras courts et longs que le lait du 7ème jour (figure 8 - tableau 9). Dès le 3ème jour la composition des matières grasses est semblable à celle des matières grasses du 7ème jour (tableau 9). Ces caractéristiques sont valables aussi bien pour les animaux en bilan négatif que pour ceux en bilan équilibré; cependant, on peut noter entre les deux lots quelques différences : le colostrum des animaux qui vont être en bilan négatif est moins riche en acides gras courts et myristique et a une proportion plus élevée d'acide oléique que le colostrum de ceux en bilan équilibré (tableau 11 - figure 8). L'augmentation de la proportion des acides gras courts, entre le 1er et le 7ème jour, est plus faible et celle des acides gras longs plus forte pour les premiers que pour les seconds (tableau 11).

La quantité de tous les acides gras (pour les deux lots, sauf le $C_{12:0}$ - $C_{14:0}$ et $C_{16:0}$ pour les animaux en bilan négatif) a augmenté entre le 1er et le 3ème jour, mais l'amplitude des variations a été beaucoup plus importante pour les animaux en bilan équilibré.

Nos résultats confirment un certain nombre d'observations antérieures sur le passage du colostrum au lait. D'après l'évolution de la composition en acides gras des matières grasses sécrétées, au cours de la 1ère semaine, nous observons que ce passage est très rapide. Déjà en 1960 JOURNET et JARRIGE, en étudiant les teneurs en matières grasses, matières azotées, lactose et le rapport caséine/matières azotées totales, avaient fait cette constatation; de même ADDA (1964) analysant les matières grasses du colostrum de vache et READ et al. (1965) celles du colostrum de femme, ont montré que ce passage se situe entre le 2ème et le 3ème jour.

[illegible] du [illegible] du bilan magnétique est à [illegible]
[illegible] et à une composition plus élevée atteinte ultérieurement
[illegible] de [illegible] du bilan liquéfié (tableau 11 - figure 8). L'augmentation
la température des zones après coupure, entre le 1er et le 7ème jour, est
faible et celle des zones après longue plus forte pour les premières que pour
[illegible]

La quantité de tous les isotopes (pour les deux jets, sauf le
$C_{12:0}$ - $C_{14:0}$ et $C_{18:0}$ pour les animaux du bilan réduit) a augmenté entre
le 1er et le 7ème jour, mais l'amplitude des variations a été beaucoup plus
importante pour le

[illegible]

[illegible]
figures sur le passage de coloration au lait. D'après l'évolution de la [illegible]
[illegible] en acides [illegible] au cours de la [illegible]
[illegible], nous observons que de drainage est très rapide. Déjà au 1000 [illegible]
et JAMBON, on étudiant les [illegible] mammaires, matières azotées,
[illegible]

[illegible]
de vache et [illegible] et al. (1964) cités au colostrum de [illegible], cet auteur [illegible]
[illegible]

Fig. 8 - COMPARAISON DE LA COMPOSITION EN ACIDES GRAS DU COLOSTRUM (1er JOUR) ET DU LAIT (7ème JOUR).

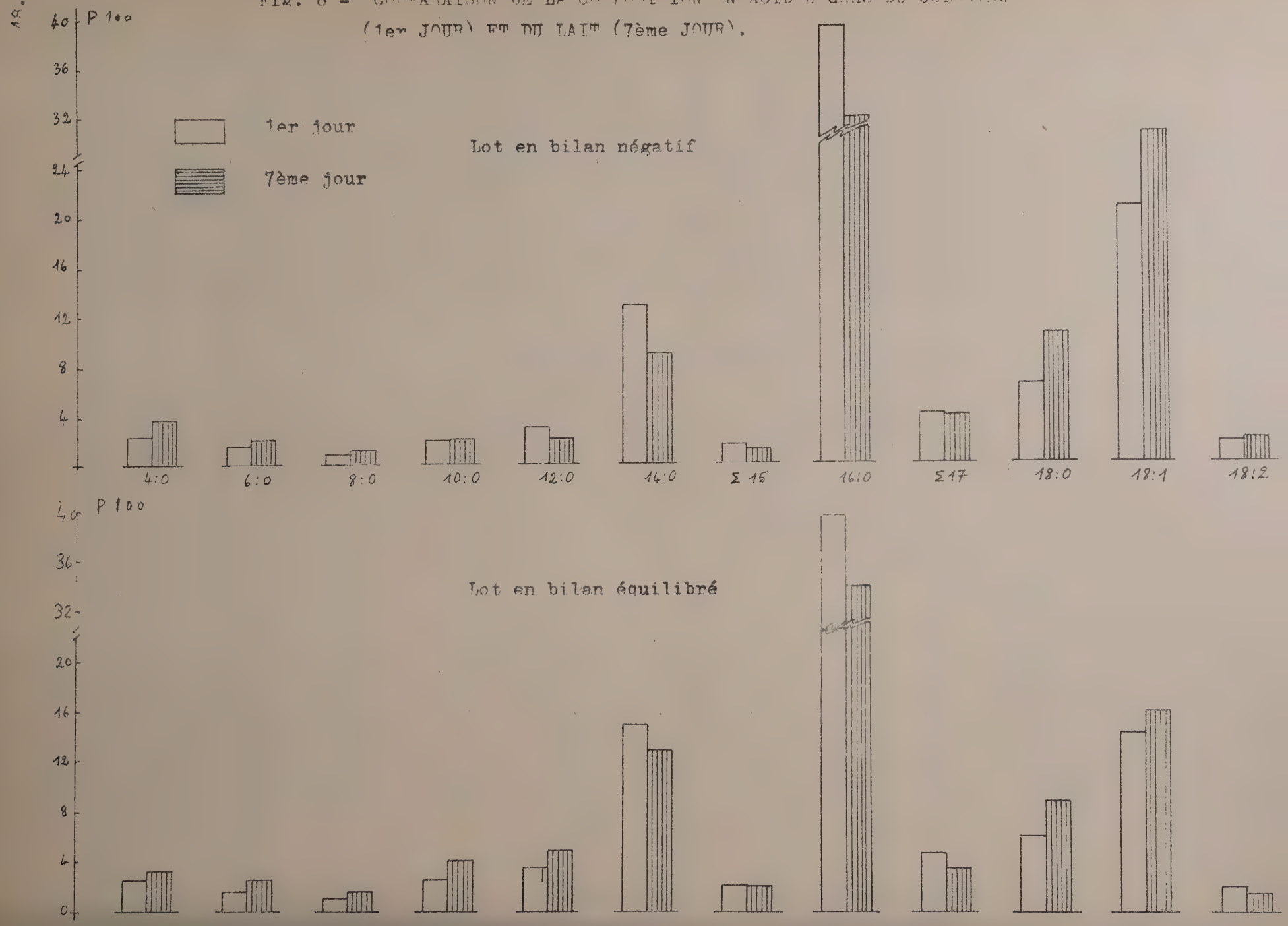


Tableau 11

EVOLUTION DE LA COMPOSITION EN ACIDES GRAS
DES MATIERES GRASSES SECRETEES AU COURS DE LA PREMIERE SEMAINE DE LA LACTATION

	Vaches en bilan négatif			Vaches en bilan équilibré		
	I*	II**	$\frac{I - II}{I} \times 100$	I*	II**	$\frac{I - II}{I} \times 100$
Acides gras courts	9,0	10,8	- 20,0	11,1	16,3	- 46,8
Acide myristique	12,7	8,8	+ 30,7	14,8	12,9	+ 12,8
Acide palmitique	40,4	32,8	+ 18,8	40,8	35,4	+ 13,2
Acide stéarique	6,4	10,8	- 68,7	6,0	8,9	- 48,3
Acide oléique	20,6	26,6	- 29,1	14,2	16,1	- 13,3

* 1er jour
** 7ème jour

Nos résultats sur la composition en acides gras des matières grasses du colostrum concordent avec ceux de ADDA (1964), alors que NIKI et al. (1966) et HOSOGAI (1964) notent que le colostrum est plus riche en acides gras longs (groupe C_{18}) et plus pauvre en acides gras courts (C_{10} à C_{14}) et palmitique que le lait. Le nombre restreint d'études et le manque de détails sur le déroulement des expériences ne nous permettent pas d'expliquer ces différences. Toutefois, il est probable que la préparation des animaux pour la mise bas a une influence majeure sur la composition des matières grasses du colostrum, la sécrétion du colostrum commençant avant.

DISCUSSION

Les résultats de cette expérience sur l'évolution simultanée de la composition des matières grasses du lait, de la concentration en acides gras libres du sang et du bilan énergétique, au cours des 6 premières semaines de la lactation (figure 7) et les liaisons hautement significatives entre ces trois paramètres (tableau 10) permettent de conclure que les variations de la composition en acides gras des matières grasses du lait dépendent alors de l'état nutritionnel de l'animal. La proportion élevée des acides gras longs après le vêlage est due à la mobilisation des réserves lipidiques sous l'action de la sous-nutrition. Ces observations confirment l'hypothèse émise par DECAEN et JOURNET (1967) que le bilan énergétique détermine l'évolution de la composition des matières grasses du lait au début de la lactation, ainsi que les résultats de DECAEN (non publiés), chez les vaches en bilan énergétique déficitaire (25 à 50 p.100) mais à un stade avancé de la lactation.

La diminution de la teneur en matières grasses du lait que nous observons au cours des 6 premières semaines après le vêlage a été beaucoup plus accentuée chez les vaches en état de sous-nutrition; elle a été uniquement due à la diminution des teneurs en acides stéarique et palmitique (figure 6). Il semble donc que les teneurs élevées en matières grasses

observées après le vêlage chez la plupart des vaches laitières, ainsi que la diminution de ces teneurs au cours des 4 à 5 semaines suivantes, soient essentiellement dues à la mobilisation des réserves lipidiques sous l'effet du bilan énergétique : déficitaire d'abord, équilibré par la suite.

L'augmentation de la quantité sécrétée des acides gras courts montre que la synthèse de ces acides gras par la mamelle est maximum à la 3ème ou 4ème semaine de la lactation; elle est associée à l'augmentation des quantités de précurseurs de ces acides gras mis à la disposition de la mamelle à la suite de l'augmentation des quantités ingérées ainsi que de la concentration énergétique de la ration. L'évolution inverse de la quantité des acides gras longs confirme l'origine différente de ceux-ci. En revanche, la quantité d'acide palmitique sécrétée varie peu au cours des 6 premières semaines indépendamment de l'état de nutrition énergétique, et cela doit être dû à sa double origine : la prédominance des acides gras du sang provenant de la mobilisation des réserves lipidiques en période de sous-nutrition et celle de la synthèse par la glande mammaire au cours de la période d'équilibre du bilan énergétique.

Les liaisons hautement significatives entre la proportion des acides gras longs du lait et la concentration en acides gras libres du sang lorsque les animaux sont en déficit énergétique (tableau 10 - figure 7) montrent que dans ce cas les acides gras libres du sang pourraient être des précurseurs directs des acides gras longs du lait. En effet, HARTMANN et LASCELLES (1964) et KRONFELD (1965) ont trouvé des différences artério-veineuses pour les acides gras libres du sang avec des teneurs supérieures à 300 µeq/l. Durant la période de jeûne la concentration des acides gras libres est élevée dans le tissu adipeux (VAUGHAN, 1961) et dans le sang (DOLE et RIZACK, 1961 - HARTMANN et LASCELLES, 1965). Mais toutefois, une partie importante de ces acides gras est convertie en triglycérides, par le foie, et ceux-ci se trouvent dans les lipoprotéines légères du sang (HAVEL et GOLDFIEN, 1961 - ROBINSON, 1963). Comme nous n'avons pas mesuré la concentration de cette fraction il est possible que celle-ci ait évoluée dans le même sens que les acides gras libres. En effet, durant la période de jeûne la teneur du sang

en lipoprotéines légères est élevée (HAVEL, 1965) et en période de sous-nutrition il a été montré (in vivo et in vitro) que les triglycérides des lipoprotéines sont oxydés (GOUSOIS, 1963) et que la différence artério-veineuse des triglycérides chez les animaux à jeûne est élevée (HARTMANN et LASCELLES, 1965).

Dans le cas des animaux en bilan énergétique équilibré nous ne trouvons pas de liaisons significatives entre les teneurs en acides gras libres du sang et la proportion des acides gras longs du lait. D'ailleurs, on peut penser que dans ce cas les acides gras libres ne sont pas des précurseurs des graisses du lait; la plupart des auteurs, ROBINSON et al. (1963), HARTMANN et LASCELLES (1964) et ANNISON et al. (1967), n'ont pas observé des différences artério-veineuses significatives au niveau de la mamelle pour les acides gras libres, alors que ces mêmes auteurs ainsi que WELCH et al. (1963) et BARRY et al. (1963) ont trouvé des différences artério-veineuses significatives pour les lipoprotéines légères ($d < 1,019$) et pour les chylomicrons.

Il semble que les changements du métabolisme lipidique au niveau de la mamelle et du tissu adipeux soient sous la dépendance d'hormones qui peuvent être celles responsables du déclenchement de la lactation, ou celles réglant les échanges de lipides entre le tissu adipeux et les tissus utilisateurs. La mise en dépôt et la mobilisation des réserves lipidiques sont fonction de l'état nutritionnel (cf. ouvrage de JACQUOT et al., 1960). Cependant, cet échange est soumis à des facteurs hormonaux et nerveux (cf. ouvrage de KAYSER, 1963). C'est ainsi que l'adrénaline, la noradrénaline, l'ACTH, le glucagon, le TSH, la GH et les hormones thyroïdiennes et hypophysaires (peptides I, II et H) augmentent la teneur en acides gras libres du sang; en revanche, l'insuline provoque une diminution de leur concentration (cf. revues de VAUGHAN, 1961 - RIZACK, 1965 - RABEN, 1965 - MIRSKY, 1965 - RADLOFF et SCHULTZ, 1966 - GHEHENNEUX, 1967). L'insuline agit sur le métabolisme lipidique, d'une part par stimulation de la synthèse des glycérides au niveau du tissu adipeux et d'autre part, elle aurait un rôle indirect en inhibant l'influence de l'adrénaline sur les activités lipasiques (JUNGAS et BALL, 1963).

Au début de la lactation, les besoins en glucose de la vache laitière sont élevés (HEAD et al., 1964) et la concentration en glucose du sang est faible (MEDEVDEV et KALANTAR, 1966) - RADLOFF et SCHULTZ, 1967); cette carence en glucose peut jouer au niveau du tissu adipeux en réduisant la synthèse des triglycérides à partir des acides gras libres qui nécessitent la présence de glucose comme précurseur de l'α - glucérophosphate (RABEN et HOLENBERG, 1960).

III - PASSAGE DE L'ALIMENTATION HIVERNALE A L'ALIMENTATION A L'HERBE ET INFLUENCE DE LA NATURE DE L'HERBE ET DU STADE VEGETATIF

INTRODUCTION

Lorsqu'au printemps les vaches laitières passent du régime alimentaire hivernal, constitué essentiellement de fourrages conservés, à un régime à base d'herbe verte, on observe en général une augmentation de la teneur en matières grasses du lait et des quantités de lait et de matières grasses sécrétées (cf. DEMARQUILLY et JOURNET, 1962).

Les caractéristiques physico-chimiques des matières grasses du lait sont également modifiées : les indices de Reichert et de saponification diminuent, l'indice d'iode augmente. La proportion des acides gras courts et moyens diminue tandis que celle des acides gras longs et insaturés (C_{18}) augmente (cf. KUZDZAL-SAVOIE, 1964). Ces différences s'observent également entre le lait produit en hiver et celui produit au pâturage pendans l'été (cf. Mc DOWELL, 1962). L'évolution de la composition des matières grasses au cours de l'année a été observée dans de nombreux pays par différents auteurs : STAHOUDERS et MULDER (1956) en Hollande, KUZDZAL-SAVOIE (1961) en France, JENSEN, GENDER et SAMPUGNA (1962) aux Etats-Unis, RICHARDSON et Mc GANN (1964) en Irlande, GUYOT (1965) en Belgique, SVENSEN et YSTGARD (1966) en Norvège, ANTILA (1966) en Finlande, ARTAMENTOVA et MARTYNUSHKINA (1966) et BELOUSOV, KUSKOVA et BAKSHEEVA (1966) en U.R.S.S.

Ces différences saisonnières sont expliquées le plus souvent par des considérations alimentaires (cf. 1ère partie) : les rations hivernales étant à base de foin et d'ensilage et les rations estivales à base d'herbe verte qui est très riche en acide linolénique (cf. discussion).

Si de nombreux travaux traitent des variations saisonnières de la composition en acides gras des matières grasses du lait, peu de rapports décrivent l'influence particulière de la mise à l'herbe (cf. 1ère partie, page 15) et rares sont les chercheurs qui ont observé les variations de la quantité d'acides gras sécrétée. Par ailleurs, seuls Mc DOWALL et Mc GILLIVRAY (1963) ont observé l'influence de la nature et du stade de végétation de l'herbe consommée. C'est pourquoi, le but de cette étude a été de décrire l'évolution quantitative et qualitative de la sécrétion des acides gras des matières grasses du lait, au moment de la mise à l'herbe puis au cours des semaines ultérieures avec l'avancement de la végétation de 3 espèces fourragères : luzerne, ray-grass et dactyle.

MATERIEL ET METHODES

Nos résultats portent sur 16 vaches de races Pie-noire, Pie-rouge ou Normande (tableau 12) qui étaient en 1ère ou 2ème lactation et avaient vêlé depuis 4 à 5 mois au début de l'expérience. Nous les avons choisées pour former 3 lots d'animaux à production laitière modérée afin de ne pas avoir à leur distribuer d'aliment concentré (ou seulement à quelques vaches).

A l'étable de La Minière, deux lots de 5 à 6 vaches ont reçu respectivement de la luzerne et du ray-grass; à Jouy, un lot de 5 vaches a reçu du dactyle. Ces animaux, maintenus en stabulation entravée, ont reçu pendant les 3 mois qui précédaient l'expérience une ration hivernale constituée de foin, d'ensilage, de betteraves et d'aliment concentré selon leurs besoins. Au cours d'une période de transition, de 8 jours pour le ray-grass et le dactyle et de 14 jours pour la luzerne, les animaux se sont adaptés progressivement à l'alimentation complète à l'herbe coupée; les quantités d'herbe offertes ont été augmentées chaque jour alors que les quantités de fourrages

Tableau 12

CARACTERISTIQUES DES VACHES

	Vaches (numéro)	Numéro de lactation	Stade de lactation* (semaines)	Production de lait* kg
LOT A Luzerne Etable de la Minière	0050	2	15	13,6
	1123	2	15	15,4
	2266	1	21	10,3
	2300	1	21	9,1
LOT B ray-grass Etable de la Minière	0168	2	21	11,1
	0430	2	7	14,5
	1200	1	21	14,5
	1426	1	16	8,2
	2115	1	19	9,9
	2343	1	22	10,2
LOT C Dactyle Etable de Jouy	0179	2	25	12,6
	0195	2	21	12,2
	1040	1	21	14,0
	1154	2	20	17,3
	1174	1	22	14,9

* Au début de l'expérience

conservés et d'aliment concentré étaient réduites. Durant la période expérimentale les vaches ont reçu, chaque jour, 4 repas d'herbe à 5 h 30, 9 h 30, 13 h 30 et 17 h. Elles ont consommé cette herbe à volonté de façon à laisser 10 p.100 de refus; l'herbe distribuée a été coupée chaque matin et sa digestibilité a été mesurée sur des moutons en cage à bilan. La ration d'herbe assurait la production d'environ 16 kg de lait au début du 1er cycle, et les vaches ayant un niveau de production plus élevé ont reçu 0,5 kg de concentré par kg de lait produit en excédent.

On a prélevé un échantillon représentatif de 4 traites consécutives de chaque vache au milieu de la semaine (2 jours), soit au total un échantillon correspondant au régime hivernal, un pour le régime de transition et six pour les régimes d'herbe. La composition en acides gras des matières grasses a été déterminée par la séparation des esters méthyliques et butyliques (cf. page 24).

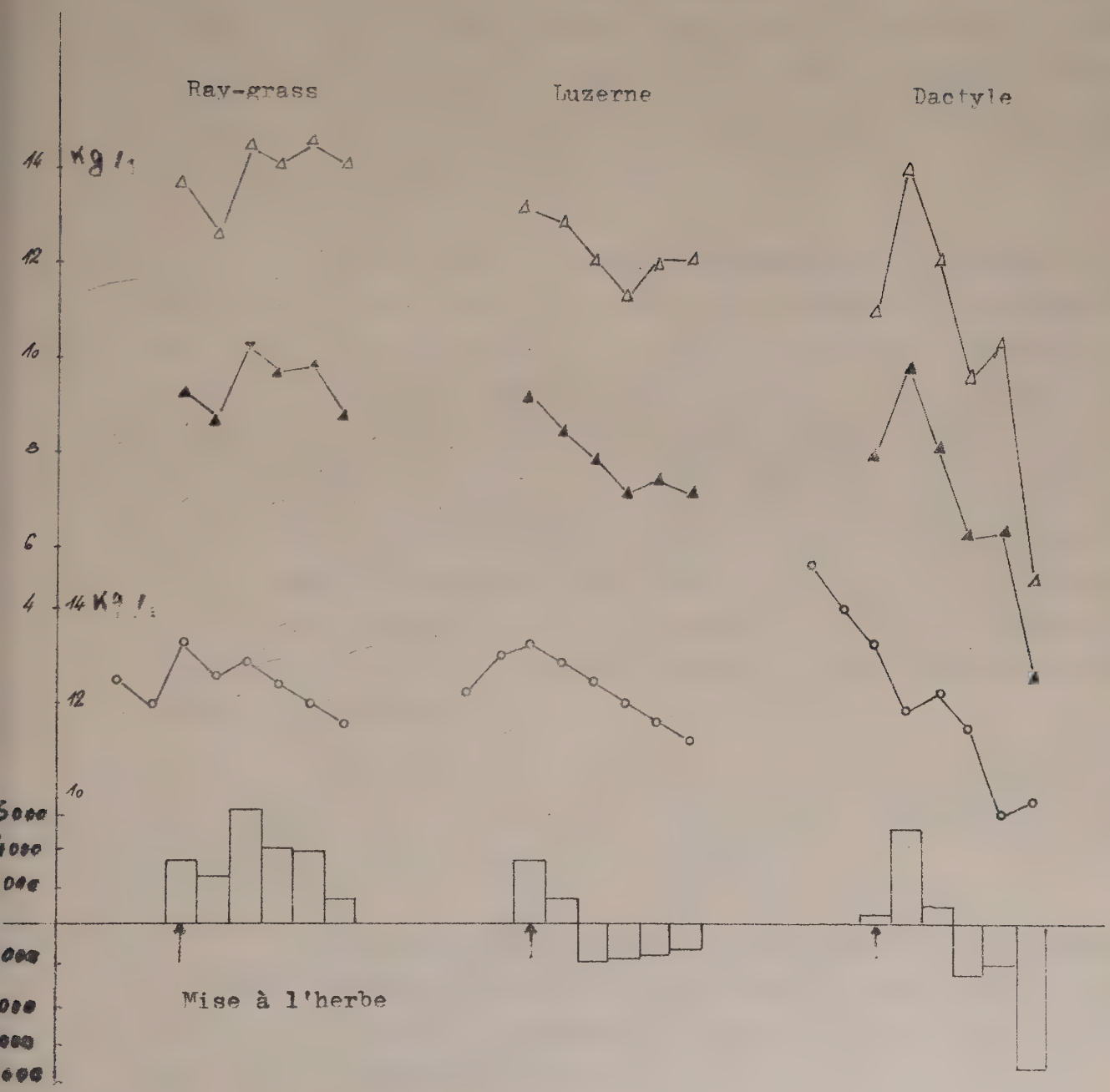
RESULTATS

1) INFLUENCE DU PASSAGE DU REGIME HIVERNAL AU REGIME D'HERBE

La quantité d'herbe ingérée augmente au cours de la période de transition et atteint une valeur moyenne de 13,1 et 13,6 kg de matière sèche sur luzerne et ray-grass et 11,7 kg sur dactyle par vache et par jour, au cours de la 1ère semaine du régime herbe (figure 9). La quantité de matière organique digestible est alors de l'ordre de 9,1 kg sur luzerne et ray-grass et 7,9 kg sur dactyle.

Entre le régime hivernal et la 1ère semaine du régime herbe les quantités de lait et de matières grasses augmentent avec le ray-grass (7,3 et 20,0 p.100) et la luzerne (8,0 et 7,9 p.100) mais diminuent avec le dactyle (- 11,0 et - 5,2 p.100). La teneur en matières grasses du lait augmente

. 9 : EVOLUTION A LA MISE A L'HERBE ET AU COURS DU 1er CYCLE DE VEGETATION DES QUANTITES DE MATIERE SECHE (△) ET DE MATIERE ORGANIQUE DIGESTIBLE (▼) INGEREES, DE LA QUANTITE DE LAIT (▲) ET DU BILAN ENERGETIQUE (o)



plus sur ray-grass (4,3 g p.1000) que sur dactyle (2,2 g p.1000) et surtout sur luzerne (0,5 g p.1000).

La composition en acides gras des matières grasses du lait est profondément modifiée à la mise à l'herbe (tableau 14) : la proportion des acides gras en C_{18} augmente (figure 10), de + 34,6 à + 73,6 p.100 selon l'espèce botanique étudiée ($P < 0,001$), au détriment des acides gras courts (21,4 à - 28,1 p.100) et de l'acide palmitique (- 5,3 à - 24,6 p.100)($P<0,01$). L'amplitude des variations sont plus importantes sur ray-grass que sur dactyle ou luzerne (tableau 13), notamment en ce qui concerne les acides gras longs (figure 10 - tableau 13); cela est dû en partie au fait que sur le régime hivernal la proportion des acides gras longs était sensiblement plus faible chez les animaux recevant du ray-grass.

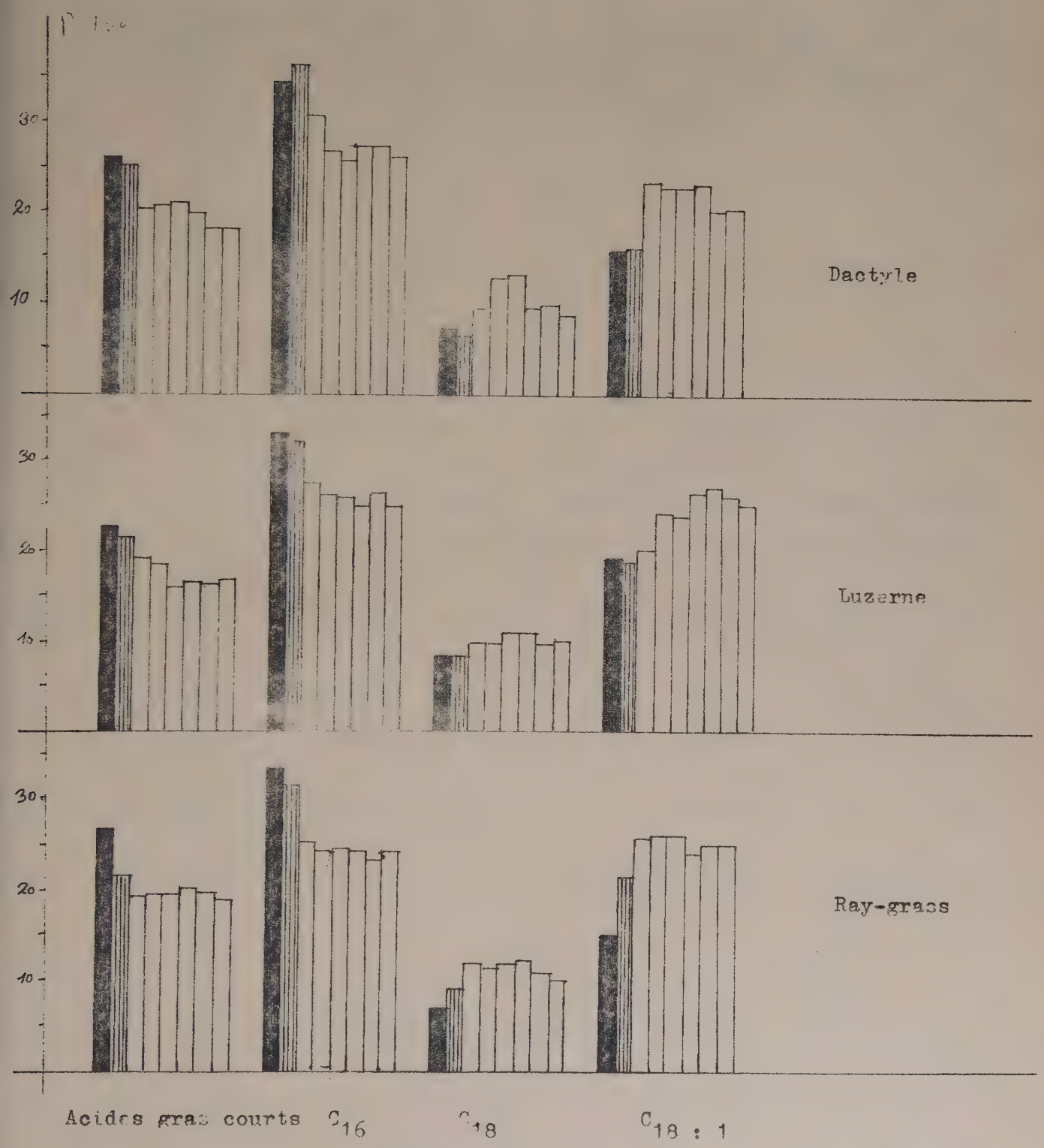
La ration d'herbe provoque une augmentation de la quantité sécrétée des acides gras totaux (9,8 p.100) et des acides gras longs (respectivement 36,7 et 47,1 p.100 pour $C_{18:0}$ et $C_{18:1}$) et une diminution de celle des acides gras courts, myristique et palmitique (26,6 , 18,5 et 17,6 p.100) (figure 11). La diminution de la quantité des acides gras courts est d'autant plus importante que la chaîne carbonée s'allonge de 6 à 12 atomes (figure 12). La sécrétion d'acide myristique diminue dans les mêmes proportions que celle d'acide palmitique mais beaucoup moins que celle des acides plus courts; cela est en faveur de l'hypothèse suivant laquelle l'acide myristique a une double origine; d'ailleurs les travaux de GERSON et al. (1968) confirment cette hypothèse. La sécrétion des acides stéarique et oléique augmente dans des proportions semblables.

La quantité des acides gras longs augmente plus sur ray-grass que sur luzerne et dactyle (figure 12); inversement celle des acides gras courts et palmitique diminue beaucoup plus sur dactyle.

L'augmentation de la teneur en matières grasses du lait observée à la mise à l'herbe est due à celle de la teneur en acides gras longs ($C_{18:0}$ et $C_{18:1}$) ($r = 0,595$*) et ceci malgré une diminution de la teneur en acides gras courts et palmitique (figure 13).

.../...

Fig. 10 : EVOLUTION HEBDOMADAIRE DE LA COMPOSITION EN ACIDES GRAS DU LAIT AU COURS DE LA MISE A L'HERBE ET DU 1er CYCLE DE VEGETATION.
REGIME HIVERNAL (■), REGIME DE TRANSITION (▥) ET REGIME D'HERBE (□)



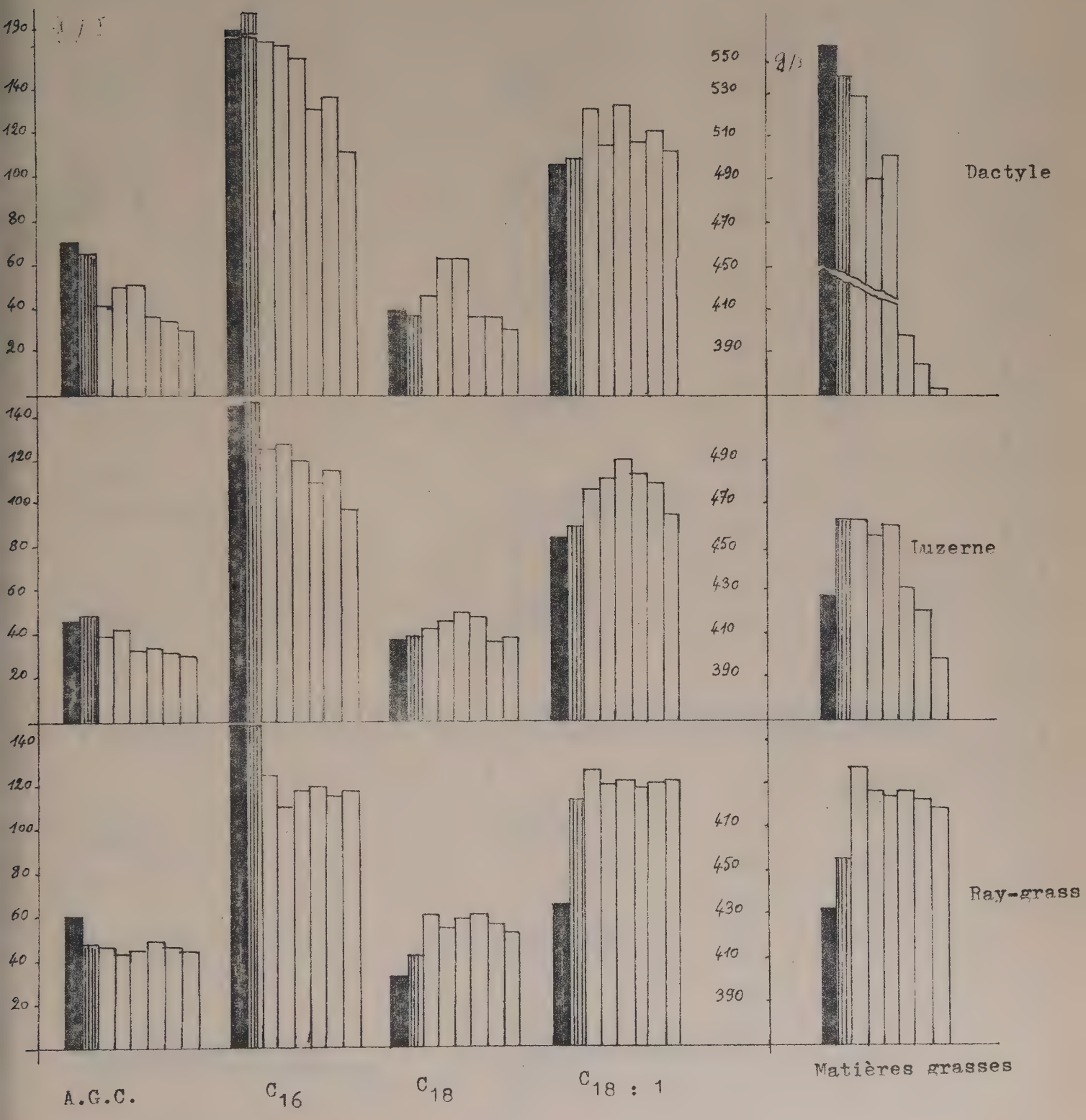
Base temps : 1 semaine.

Tableau 13

VARIATIONS DE LA COMPOSITION ET DE LA QUANTITE DES ACIDES GRAS
ENTRE LE REGIME HIVERNAL ET LA 1ère SEMAINE DU REGIME D'HERBE
(en p.100 de la valeur initiale)

	Proportion des acides gras			Quantité d'acides gras		
	ray-grass	luzerne	dactyle	ray-grass	luzerne	dactyle
Acides gras courts	- 26,3	- 21,4	- 28,1	- 19,4	- 15,0	- 33,6
Acide palmitique	- 24,6	- 16,9	- 5,3	- 15,2	- 12,6	- 23,2
Acides gras longs	+ 73,6	+ 34,6	+ 45,1	+ 93,0	+ 36,9	+ 26,1

Fig. 11 - EVOLUTION DE LA QUANTITE SECRETEE D'ACIDES GRAS DU LAIT AU COURS DE LA MISE A L'HERBE ET DU 1er CYCLE DE VEGETATION
REGIME HIVERNAL (■), REGIME DE TRANSITION (▥) ET REGIME D'HERBE (□)



Beau temps : 1 semaine

Fig. 12 : VARIATION DE LA COMPOSITION DES MATIERES GRASSES ET DE LA QUANTITE SECRETEE DES ACIDES GRAS DU LAIT ENTRE LE REGIME HIVERNAL ET LA 1ère SEMAINE D'HERBE.

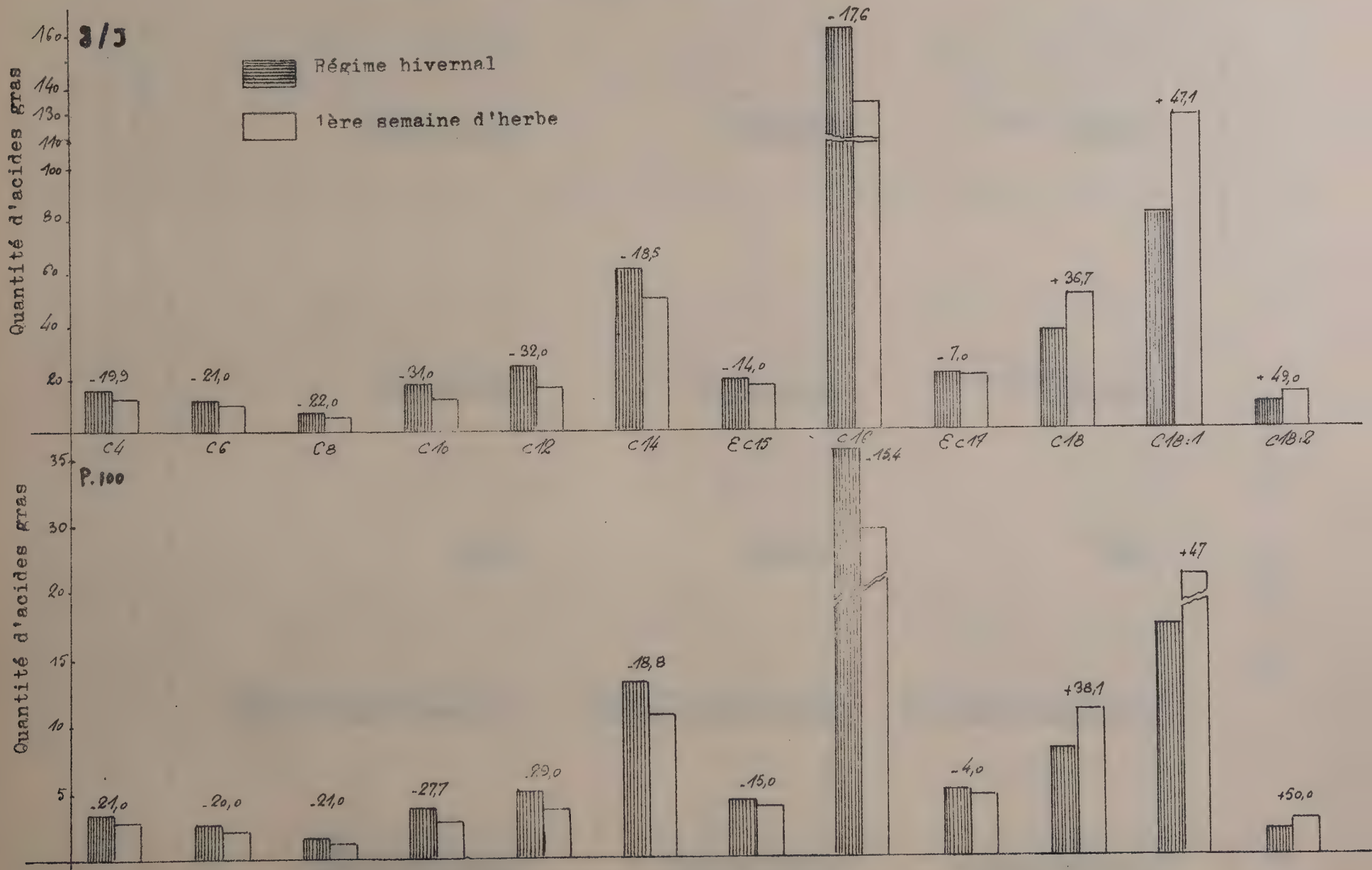
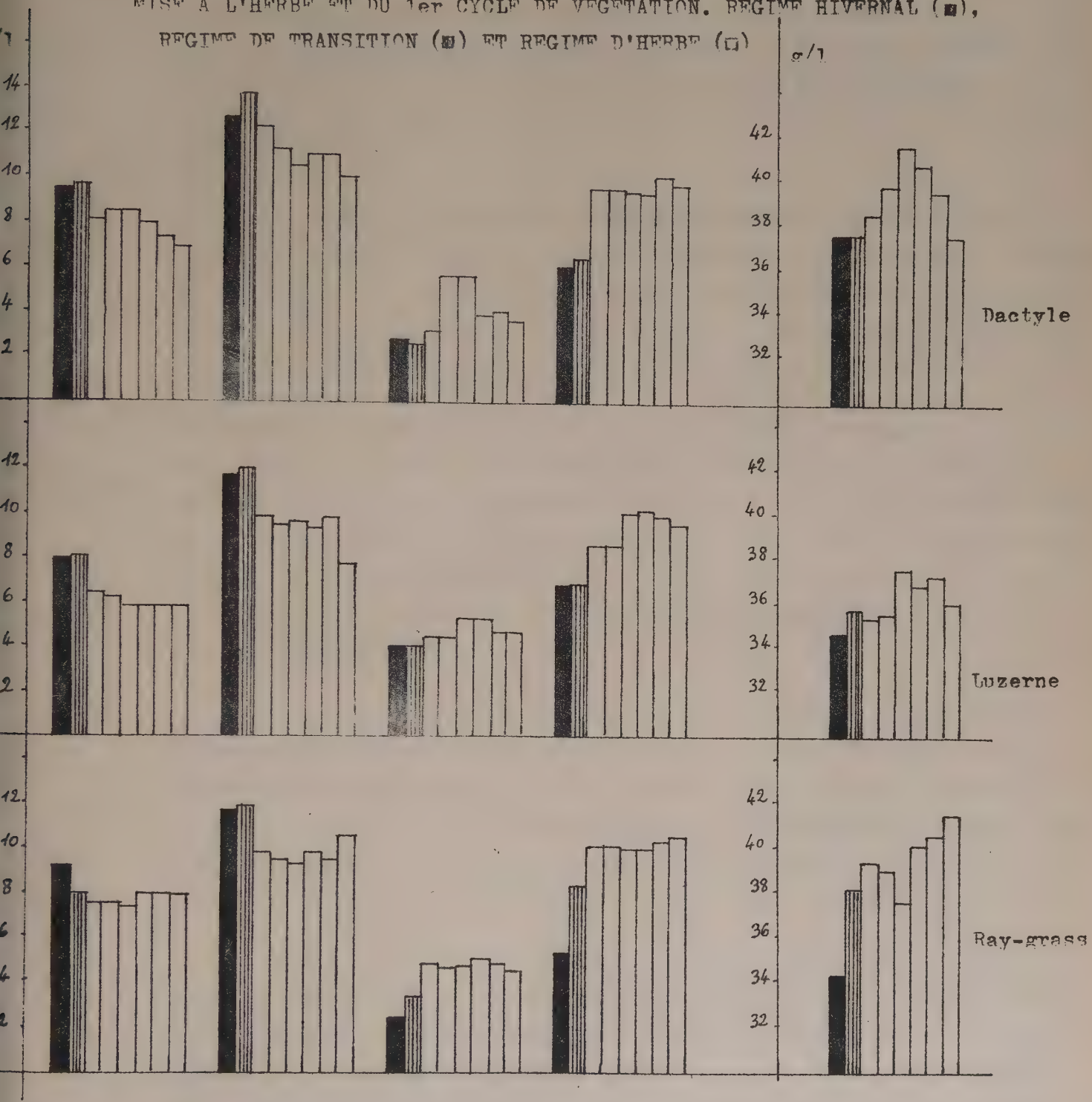


Fig. 12 : EVOLUTION DE LA TENEUR (G/L) DES ACIDES GRAS DU LAIT AU COURS DE LA MISE A L'HERBE ET DU 1er CYCLE DE VEGETATION. REGIME HIVERNAL (■), REGIME DE TRANSITION (▨) ET REGIME D'HERBE (□)



Teneur en matières grasses du lait.

Base temps : 1 semaine.

2) INFLUENCE DU STADE DE VEGETATION ET DE L'ESPECE BOTANIQUE

L'évolution de la production laitière, au cours des 6 semaines du 1er cycle de végétation traduit celle des quantités de matière sèche et de matière organique digestible ingérées (figure 9) et en conséquence celle du bilan énergétique.

Durant les 3 premières semaines les quantités de matière sèche et de matière organique sont sensiblement les mêmes pour le ray-grass, la luzerne et le dactyle et ces trois espèces assurent la sécrétion d'une même quantité de lait. Ensuite, la quantité de lait diminue peu sur ray-grass (8,6 p.100 par mois) légèrement plus sur luzerne (10,6 p.100) du fait d'une légère sous-nutrition qui entraîne une perte de poids. Sur dactyle les quantités de matière sèche et de matière organique ingérées diminuent rapidement, respectivement de 55,8 et 59,4 p.100 au cours des 3 dernières semaines; les vaches sont en déficit énergétique croissant (de 2 145 à 7 425 calories NKF par jour selon les semaines), elles perdent environ 20 kg de poids vif et leur production de lait diminue rapidement (17,1 p.100 par mois) (figure 9). Notons que la diminution de la quantité de dactyle ingérée est en partie due à la présence de mauvaises herbes.

La teneur en matières grasses du lait a tendance à augmenter, au cours du 1er cycle, sur ray-grass et luzerne, alors que sur dactyle après une valeur maximum atteinte à la 3ème semaine, elle a tendance à décroître (figure 13). La quantité de matières grasses se maintient sur ray-grass; elle diminue au cours des 4 dernières semaines de façon normale (10,5 p.100 par mois) sur luzerne et très rapidement sur dactyle (19,5 p.100)(figure 11).

La composition en acides gras est assez stable; on observe cependant une légère diminution de la proportion des acides gras courts sur luzerne et sur dactyle et une augmentation de celle de l'acide oléique sur luzerne (figure 10). D'une manière générale, il n'y a pas de différences significatives entre les compositions des matières grasses produites sur les différents fourrages distribués.

Au cours du 1er cycle de végétation sur le ray-grass les variations de la teneur en matières grasses du lait sont dues à celles de la teneur de tous les acides gras; alors qu'avec le dactyle elles sont dues seulement à la sécrétion des acides gras courts et de l'acide stéarique (figure 13).

Les quantités sécrétées des différents acides gras varient comme la quantité de matières grasses; elles évoluent peu sur ray-grass et diminuent sur luzerne et dactyle. On notera cependant que la quantité d'acide oléique reste constante sur dactyle et augmente au cours des 3 premières semaines pour diminuer par la suite sur luzerne.

3) RELATIONS ENTRE LES PARAMETRES

Nous avons étudié un certain nombre de liaisons inter-individuelles (entre les 16 vaches) sur la moyenne des trois premières semaines du régime d'herbe (tableau 15).

Les vaches qui ont ingéré le plus d'herbe (en matière sèche) ont produit significativement plus de lait mais un lait plus pauvre en acides gras longs ($r = -0,595^{*}$). Celles qui ont une teneur en matières grasses plus élevée ont un lait plus riche en acides gras courts ($r = +0,607^{*}$). Les vaches qui produisent le plus de matières grasses ont un lait avec une teneur plus élevée en acides gras courts ($r = +0,570^{*}$) et plus faible en acides gras longs ($r = -0,449^{+}$). Il semble donc que ces vaches à potentiel de production plus élevé aient une biosynthèse mammaire d'acides gras courts plus importante et qu'elles ne prélèvent pas dans le sang une quantité d'acides gras longs proportionnelle à la quantité de lait produite.

Nous avons calculé, pour les 6 valeurs hebdomadaires moyennes de chaque lot sur régime d'herbe, les coefficients de corrélation entre la quantité de lait, la teneur en matières grasses, le bilan énergétique, la composition, la teneur et la quantité des acides gras sécrétés (tableau 16). Ces paramètres sont plus étroitement liés sur dactyle que sur luzerne ou ray-grass.

.../...

Tableau 14

INFLUENCE DE LA MISE A L'HERBE ET DU STADE DE VEGETATION DU FOURRAGE SUR L'EVOLUTION DE LA COMPOSITION DES LIPIDES DU LAIT

(moyenne de 3 lots)

Nombre d'atomes de carbone	Régime hivernal	Régime de transition	1er Cycle de végétation semaine					
			1	2	3	4	5	6
C_2 , C_3	2,4	2,2	1,9	1,9	2,0	2,1	1,5	1,8
C_4	3,4	3,1	2,7	2,8	2,6	2,6	2,1	2,6
C_6	2,5	2,2	2,0	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8
C_8	1,4	1,3	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0
C_{10}	3,6	3,1	2,6	2,7	2,5	2,4	2,3	2,3
C_{12}	4,8	4,3	3,4	3,5	3,4	3,4	3,3	3,3
C_{14}	12,7	11,8	10,3	10,2	9,9	9,8	9,6	9,5
ΣC_{15}	4,0	3,7	3,4	3,8	3,9	3,9	4,3	4,3
C_{16}	33,6	33,3	28,4	25,9	25,3	25,7	25,8	25,2
$C_{16:1}$	3,1	2,7	2,9	2,9	2,9	3,2	3,3	3,7
ΣC_{17}	1,5	1,1	1,3	1,3	1,4	1,6	1,9	2,1
C_{18}	7,6	7,9	10,5	11,4	12,0	11,1	10,4	9,9
$C_{18:1}$	16,8	19,2	24,7	24,4	25,1	25,1	25,6	25,5
$C_{18:2}$	1,6	1,8	2,4	2,4	2,4	2,4	2,8	2,8
$C_{18:3}$	0,7	1,4	2,4	2,4	2,4	2,3	2,5	2,5
autres	1,0	1,0	1,1	1,6	1,4	1,5	1,8	1,8

Tableau 15

COEFFICIENTS DE CORRELATION INTER-INDIVIDUELLE ENTRE LES VALEURS MOYENNES DES 3 PREMIERES SEMAINES DU 1er CYCLE DE VEGETATION (n = 16 vaches)

		Lait	T.B.	M.G.	Proportion dans le lait			Quantité sécrétée			Concentration dans le lait		
					A.G.C.	C_{16}	A.G.L.	A.G.C.	C_{16}	A.G.L.	A.G.C.	C_{16}	A.G.L.
Quantité ingérée kg de matière sèche		0,548*	-0,438	0,342	0,452		-0,306	0,361				-0,321	-0,595*
Lait (kg/j)			-0,306	0,917**	0,443	0,583*	-0,745**	0,893**	0,859**	0,837**			-0,640**
Taux butyreux (T.B.)											0,607*	0,432	0,483
Matières grasses (M.G.)					0,546*	0,645**	-0,766**	0,972**	0,913**	0,891**	0,570*	0,488	-0,449
Proportion dans le lait	A.G.C.						-0,662**	0,673**	0,363		0,792**		-0,593*
	C_{16}						-0,796**	0,660**	0,845**	0,526*	0,430	0,835**	0,340
	A.G.L.							-0,842**	-0,822**	-0,483	-0,619*	-0,516*	0,724**

A.G.C. : $C_4 + C_6 + C_8 + C_{10} + C_{12}$ A.G.L. : $C_{18} + C_{18:1}$

* $P < 0,05$

** $P < 0,01$

Les valeurs inférieures à 0,3 ne sont pas reportées.

COEFFICIENTS DE CORRELATION ENTRE LES VALEURS MOYENNES (par lot)
DES SIX PREMIERES SEMAINES DU PREMIER CYCLE DE VEGETATION

		Ray-grass			Luzerne			Dactyle		
		Lait	T.B.	B.E.	Lait	T.B.	B.E.	Lait	T.B.	B.E.
Taux butyreux (T.B.)		-0,801	—		0,526	—		0,545	—	
Quantité de :										
. matières grasses		0,764			0,930**			0,976**	-0,712	
. matière sèche ingérée					0,694	-0,697		0,615	0,969**	
Bilan énergétique (B.E.)		0,538	-0,734	—	0,895*	-0,740	—	0,623	0,965**	—
Proportion dans le lait	A.G.C.			0,607	0,748	-0,903*	0,918*	0,829*	0,831*	0,813*
	C_{16}				0,731		0,784		0,998***	
	C_{18}	0,772	-0,706	0,713		0,569			0,854*	0,772
	$C_{18:1}$	0,515	-0,671		-0,600	0,850*	-0,829*	-0,742	-0,833*	-0,772
Quantité sécrétée par jour	A.G.C.			0,564	0,750	-0,515	0,593	0,663	0,904*	0,872*
	C_{16}				0,919*		0,749	0,845*	0,831*	0,913*
	C_{18}	0,778	-0,558	0,708	0,502			0,558	0,895*	0,863*
	$C_{18:1}$	0,789						0,647		
Concentration dans le lait	A.G.C.	-0,713	0,861*		0,832*		0,958**	0,745	0,933**	0,903*
	C_{16}		0,818*	-0,792				0,691		0,588
	C_{18}					0,744	-0,589	0,557	0,757	0,637
	$C_{18:1}$	-0,552	0,729		0,596	0,916*	-0,729	-0,819		

A.G.C. : $C_4 + C_6 + C_8 + C_{10} + C_{12}$

* $P < 0,05$
** $P < 0,01$
*** $P < 0,001$

Les valeurs inférieures à 0,3 ne sont pas reportées.

La quantité de lait est liée, au bilan énergétique (+ 0,538 , + 0,895* et + 0,623 respectivement sur ray-grass, luzerne et dactyle), à la quantité de matières grasses et à celle d'acide palmitique (tableau 16). Mais le sens de certaines liaisons est différent pour les trois espèces : la teneur en matières grasses avec celle en acides gras courts (+ 0,861* , - 0,806* et + 0,933** respectivement), avec le bilan énergétique (- 0,734 , - 0,740 et + 0,865**). De même les liaisons entre la teneur en matières grasses et les proportions des acides gras courts et palmitique sont différentes selon les espèces : négatives pour ray-grass et luzerne, positives pour dactyle.

DISCUSSION

D'une manière générale, nos résultats confirment un certain nombre d'observations antérieures. Ainsi, comme DEMARQUILLY et JOURNET (1962), nous trouvons que, le plus souvent, la quantité de lait, la teneur en matières grasses et la quantité de ces dernières augmentent à la mise à l'herbe. Nos résultats montrent par ailleurs que si, à la mise à l'herbe, la teneur en matières grasses du lait augmente légèrement, la composition en acides gras change profondément; c'est ainsi que l'augmentation de la sécrétion des matières grasses du lait, au cours de cette période, est due à celle des acides gras en C_{18} saturé et insaturés (figure 13) qui est plus importante que la diminution de la sécrétion des acides gras courts et de l'acide palmitique; cela indépendamment de l'espèce botanique du fourrage. Au cours du 1er cycle de végétation la composition en acides gras des matières grasses du lait varie peu malgré les différences entre les espèces fourragères consommées, les changements de l'état nutritionnel et de la quantité de matières grasses ingérée.

Les changements de la sécrétion des différents acides gras, lors de la mise à l'herbe, peuvent s'expliquer par les différences de composition entre les régimes d'hiver et l'herbe.

ROLE DE LA FRACTION LIPIDIQUE

Les lipides de l'herbe peuvent avoir une action directe comme précurseurs des matières grasses du lait ou une action indirecte sur les fermentations dans le rumen ou sur la biosynthèse des acides gras courts.

L'herbe verte est riche en matières grasses qui, selon le stade de végétation constituent de 4 à 8 p.100 de sa matière sèche (cf. ouvrage de HILDITCH et WILLIAMS, 1964 - SHORLAND, 1961 - HAWKE, 1963 - KUZDZAL-SAVOIE, 1964a). En estimant cette teneur à 6 p.100 au début du 1er cycle, nous calculons que les vaches ont ingéré en moyenne 700 à 850 g de lipides par jour soit 350 à 425 g d'acides gras (lesquels, selon HAWKE, 1963 représentent environ la moitié des graisses de l'herbe), soit près de trois fois plus qu'avec la ration hivernale. L'acide linolénique représente à lui seul de 65 à 75 p.100 des acides gras totaux de l'herbe et ceci quelle que soit l'espèce botanique : ray-grass (SHORLAND, 1961 - CZERKOWSKI, 1967), luzerne (KUZDZAL-SAVOIE, 1964a), mélange de ray-grass, dactyle et fléole (GARTON, 1960). La composition en acides gras des lipides foliaires est constante et indépendante de l'espèce botanique; c'est sans doute la raison pour laquelle nous n'avons pas observé d'influence appréciable de la nature du fourrage.

On sait que les acides gras insaturés subissent une hydrogénation dans le rumen et que les acides gras longs du lait seraient essentiellement prélevés sur les acides gras longs préformés dans le sang l'origine digestive et métabolique (cf. 1ère partie). Donc l'augmentation de la sécrétion des acides gras longs à la mise à l'herbe, pourrait provenir d'une augmentation des quantités d'acides gras longs ingérées.

Mais nous avons vu qu'un apport important d'acides gras insaturés sous forme d'huiles provoque une diminution de la teneur en matières grasses du lait (cf. 1ère partie). Le phénomène inverse observé avec de l'herbe peut s'expliquer du fait que, dans ce cas, les lipides sont des constituants normaux des fourrages avec une structure glycéridique spéciale (WEENINK, 1959), ce qui conduit à une hydrolyse dans le rumen différente de celle des autres

matières grasses alimentaires (GARTON, LOUGH et VIOQUE, 1961 - HAWKE et ROBERTSON, 1964 - BATH et HILL, 1965). De plus, les lipides de l'herbe sont riches en acide linolénique, tandis que ceux des huiles qui diminuent la teneur en matières grasses du lait contiennent une proportion élevée d'acide linoléique (BROWN, STULL et STOTT, 1962); il en est de même pour les matières grasses des céréales (LINDBERG et al., 1964a-1964b). Or on sait que l'acide linolénique peut être plus facilement hydrogéné que les acides linoléique et oléique (ROBERTSON et HAWKE, 1864 - BATH et HILL, 1968). Ceci peut expliquer pourquoi les acides gras de l'herbe sont très rapidement saturés dans le rumen (HAWKE et ROBERTSON, 1964).

La diminution de la sécrétion des acides gras courts, à la mise à l'herbe, serait partiellement due à l'action indirecte des lipides sur la biosynthèse de ces acides gras. Certains auteurs ont pensé que le prélèvement par la mamelle d'une grande quantité d'acides gras longs pourrait inhiber la synthèse des acides gras courts (BEITZ et DAVIS, 1964). En effet, chez le rat une ration riche en lipides provoque la diminution de la synthèse des acides gras par le foie (cf. revues de BOTTINI, ANDERSON et REISER, 1965 - JANSEN, HUCHISON et ZAMETTI, 1966 - MORRE et STEELE, 1968). Selon BORTZ, ABRAHAM et CHAIKOFF (1963) chez le rat en régime hyperlipidique la synthèse des acides gras serait inhibée faute d'acétyl-CoA-carboxylase, laquelle catalyse la carboxylation de l'acétyl-CoA. L'inhibition par les lipides de la synthèse des acides gras a été démontré in vitro aussi bien dans l'homogénat de la glande mammaire des ruminants (HIBBITT, 1966) que dans celui de la glande mammaire de la rate (SMITH et DIL, 1966).

Donc on peut conclure qu'à la mise à l'herbe, par suite d'une augmentation de la quantité ingérée des acides gras longs, la glande mammaire prélève davantage de ces acides gras. Cela cause une diminution de la sécrétion des acides gras courts par l'action inhibitrice des acides gras longs sur la biosynthèse des acides gras à courte chaîne.

MODIFICATION DES FERMENTATIONS DU RUMEN

Nous n'avons pas déterminé l'évolution de la composition en acides gras volatils du rumen sous l'influence des régimes d'herbe; cependant, il semble qu'à la mise à l'herbe, le rôle des précurseurs des acides gras courts soit limité. En effet, avec un régime d'herbe très digestible, la quantité d'acide acétique produit dans le rumen ne diminue pas l'augmentation de la concentration en acides gras volatils du jus du rumen compensant la diminution de la proportion d'acide acétique (BATH et ROOK, 1965).

On sait, en effet, que l'herbe de printemps est riche en glucides solubles et pauvre en glucides membranaires lesquels sont d'ailleurs très digestibles (JARRIGE, 1963 - JARRIGE et MINSON, 1964 - PARKS et al., 1964 - WAITE, 1965) et que cette fraction glucidique très fermentescible donne naissance à une production d'acide propionique plus élevée, d'où résulte un rapport acétique/propionique plus faible; ceci a été montré par PARKS et al.(1964) avec le ray-grass à différents stades de végétation et par THOMAS et TERRY (1965) avec les rations contenant différentes proportions de glucides. La conversion du glycérol, issu de l'hydrolyse des matières grasses qui sont ingérées en quantité beaucoup plus importante, pourrait également augmenter la proportion de l'acide propionique dans le rumen.

Nous observons que durant le 1er cycle la quantité de matière organique digestible ingérée diminue avec les régimes luzerne et dactyle, d'où résulte une chute de la production des acides gras volatils dans le rumen (DEMARQUILLY, résultats non publiés); nous remarquons parallèlement une diminution de la quantité des acides gras courts et de l'acide palmitique du lait. En revanche, sur ray-grass la quantité de matière organique diminue moins, et de même la quantité sécrétée des acides gras courts et palmitique varie peu.

ROLE DES LIPIDES CORPORELS

On peut se demander si les acides gras longs issus de la mobilisation des réserves lipidiques de l'animal ont joué un rôle dans les modifications observées à la mise à l'herbe et au cours du 1er cycle de végétation.

Nous avons observé que les vaches recevant du dactyle à la fin du 1er cycle, ont été en état de sous-nutrition accentuée (figure 9) et, de ce fait, ont perdu environ 20 kg de poids vif. A cette période les quantités d'acides gras courts, palmitique et longs ont toutes diminué, probablement parce que les apports énergétiques et les quantités de lipides alimentaires ingérées ont diminué parallèlement aux quantités d'herbe. Mais on observe que la proportion d'acides gras longs est restée très élevée et elle est due à une mobilisation importante des réserves lipidiques, ce qui serait semblable à ce que l'on observe en période de sous-nutrition, au début de la lactation.

D'un point de vue zootechnique, les résultats de cette étude confirment que le ray-grass est plus favorable à la production laitière que la luzerne et surtout le dactyle, ce qui avait été montré par DEMARQUILLY (1962).

IV - REGIMES PROVOQUANT UNE CHUTE DE LA TENEUR EN MATIERES GRASSES DU LAIT

INTRODUCTION

Avec les régimes normaux, la teneur en matières grasses du lait dépend peu du régime alimentaire; c'est ainsi qu'au cours des 5 dernières décennies de nombreux auteurs n'ont pas réussi à enrichir le lait en matières grasses, en faisant varier les apports lipidiques, azotés et énergétiques de la ration dans des proportions assez importantes (cf. revues de JARRIGE et JOURNET, 1959 - AURIOL et JARRIGE, 1962).

Mais plus récemment, il a été montré que la teneur en matières grasses du lait peut décroître très fortement sous l'effet de certaines rations :

- les rations synthétiques pauvres en lipides ou les rations délipidées;
- les rations contenant un apport supplémentaire d'acides gras polyinsaturés spécialement d'acide linoléique;

.../...

- les rations à base d'aliments condensés (broyés et agglomérés) ou à base d'aliments concentrés (cf. 1ère partie).

L'emploi de ces dernières rations est envisagé dans l'alimentation des vaches laitières pour des raisons d'économie et de main d'oeuvre (diminution des pertes, facilité de la mécanisation, de distribution, volume faible de stockage ...) et pour des raisons zootechniques (augmentation des quantités ingérées). Or, dans certaines conditions, l'effet dépressif de ces rations sur la teneur en matières grasses du lait limite leur utilisation. Les modifications de la composition en acides gras des matières grasses du lait, et des différentes fractions lipidiques du sang qui accompagnent la chute de la teneur en matières grasses du lait, devraient nous permettre d'en rechercher les causes. Mais il y a peu d'études sur ce sujet et les résultats des différents auteurs ne sont pas concordants (cf. 1ère partie); c'est la raison pour laquelle nous nous sommes proposés d'étudier l'influence d'un régime à base d'aliments condensés sur la production laitière et sur la composition en acides gras des matières grasses du lait.

REGIME A BASE D'ALIMENTS CONDENSES

MATERIEL ET METHODES

Nous avons étudié l'influence de la finesse de broyage du foin, de l'addition d'aliments concentrés au foin broyé et de la nature de ce foin : légumineuse (luzerne) ou graminée (fléole et fétuque) sur la production laitière et sur la composition en acides gras des matières grasses du lait. Pour chacun des deux foins nous avons constitué 4 régimes :

A - Foin broyé dans un broyeur à marteaux équipé d'une grille à mailles de 3 mm et aggloméré;

B - Foin broyé moins finement (grille à mailles de 5 mm) et aggloméré;

.../...

C - Foin et aliments concentrés dans les proportions de 70/30 broyés (grille à mailles de 10 mm) et agglomérés ensemble;

D - Foin et aliments concentrés dans les proportions de 50/50 broyés (grille à mailles de 10 mm) et agglomérés ensemble.

Le foin de luzerne étant plus riche en azote que le foin de graminées, la composition de l'aliment concentré introduit dans les régimes C et D a été différente pour les deux groupes :

Groupe Luzerne : orge 50 p.100, maïs 47 p.100 et complément minéral 3 p.100;

Groupe Graminées : orge 45 p.100, maïs 35 p.100, tourteaux d'arachide 10 p.100, tourteaux de colza 7 p.100 et complément minéral 3 p.100.

Les aliments condensés ont été distribués à volonté; les vaches qui n'en consommaient pas assez pour couvrir leurs besoins ont reçu en plus une quantité adaptée d'un aliment concentré courant (farine de céréales).

Pour chaque foin, nous avons utilisé un dispositif expérimental en carré latin avec 4 lots de 2 vaches et 4 périodes expérimentales de 21 jours pendant lesquelles les animaux ont reçu les quatre régimes alimentaires. Les deux premières semaines de chaque période ont été considérées comme période d'adaptation et les échantillons de lait individuels en vue de l'analyse des matières grasses ont été pris au milieu de la 3ème semaine sur quatre traites consécutives

Les quatre périodes expérimentales ont été précédées d'une période pré-expérimentale et suivies d'une période post-expérimentale de 4 à 6 semaines, pendant lesquelles les animaux ont reçu des rations normales constituées de foin et d'aliment concentré au cours de la période pré-expérimentale, de foin, d'ensilage et d'aliment concentré pendant la période post-expérimentale. Au cours de la dernière semaine de ces deux périodes des échantillons de lait individuels ont été prélevés.

Les vaches, dont les caractéristiques figurent dans le tableau 17, étaient de race Frisonne-Pie-noire et avaient vêlé de 41 à 72 jours avant le début de l'expérience. Elles ont été maintenues en stabulation entravée sur une litière de paille. Pour éviter qu'elles ne consomment de cette paille en quantité que nous n'avions pas pu mesurer, nous leur avons distribué ad libitum, de la paille de bonne qualité dans leur auge.

RESULTATS

Nous allons étudier d'abord l'évolution moyenne de la production et de la composition du lait, de chacun des deux groupes d'animaux (légumineuse et graminée) au cours de l'ensemble des trois périodes; nous pouvons le faire grâce au dispositif en carré latin adopté pendant la période expérimentale. Puis nous analyserons l'effet spécifique de chaque aliment condensé spécialement sur la composition des matières grasses et leur teneur dans le lait.

1/ Evolution au cours de l'expérience

Le niveau d'ingestion a été plus élevé au cours de la période expérimentale (aliment condensé) qu'au cours des périodes pré et post-expérimentales, respectivement de 24,1 et 9,2 p.100 sur graminée et de 20,4 et 19,5 p.100 sur luzerne.

L'augmentation du poids vif au début de la période expérimentale (figure 14) doit être due en grande partie à celle du poids du contenu digestif comme l'ont observé JOURNET et DEMARQUILLY (1967) dans des cas semblables. Durant la période expérimentale les animaux sont suralimentés (de 1 000 à 5 000 calories nettes NKF/j, selon les régimes) et gagnent en moyenne 14 et 25 kg pour les groupes graminée et luzerne en 106 et 89 jours respectivement.

.../...

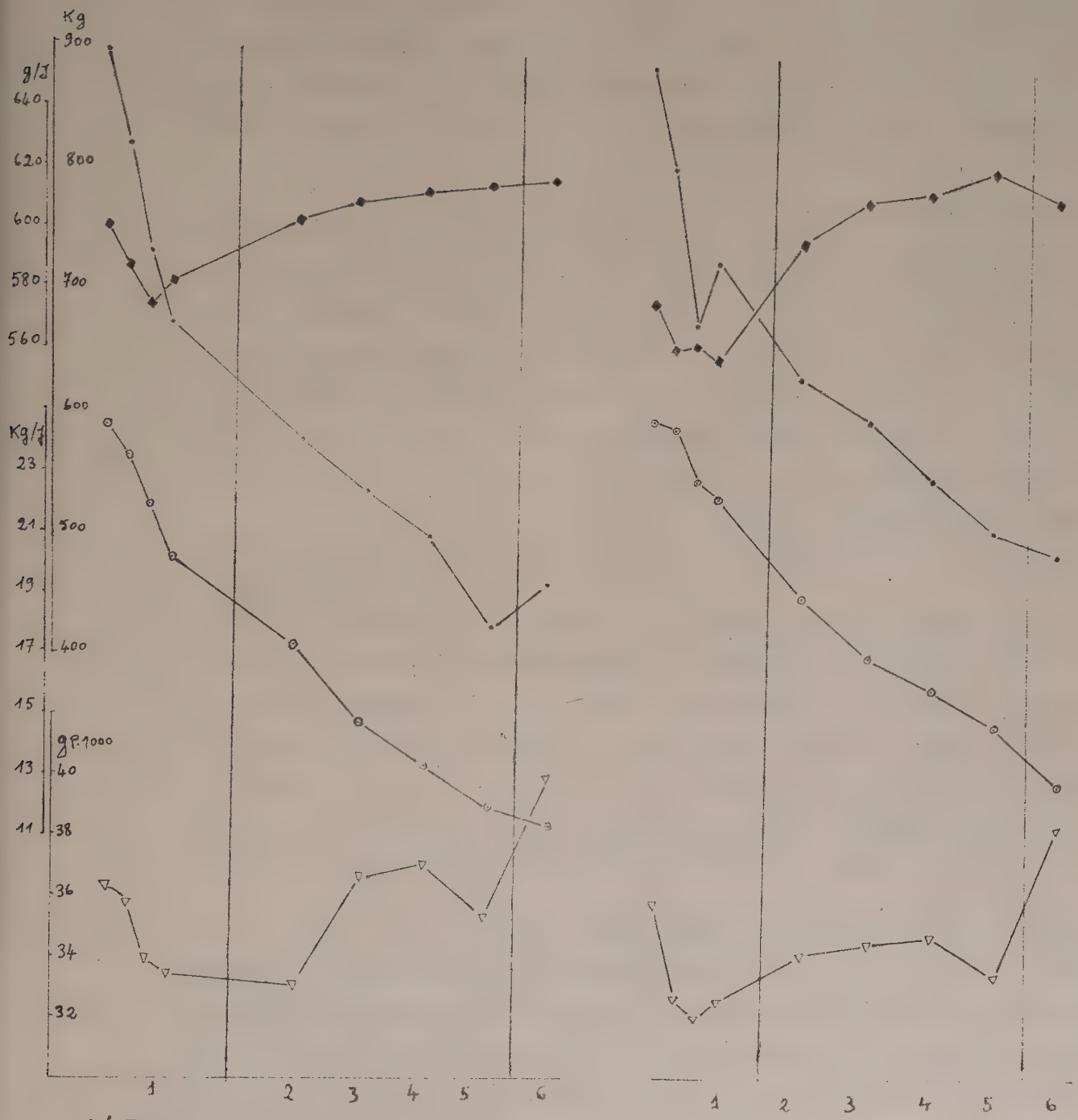
Tableau 17

CARACTERISTIQUES DES VACHES

	Vache n°	Date de vêlage	N° de lactation	Stade de lactation* (jours)
Groupe Graminée	1040	27/11/66	3	59
	1180	1/12/66	3	54
	1181	10/12/66	3	45
	1201	13/12/66	3	42
	2187	29/11/66	2	57
	3107	25/11/66	2	61
	3144	14/12/66	2	41
	3155	6/12/66	2	49
Groupe Luzerne	1008	18/11/66	4	56
	1037	22/11/66	3	52
	2025	16/11/66	3	58
	2033	14/11/66	2	60
	2109	22/11/66	3	52
	3008	2/11/66	2	72
	3024	8/11/66	2	66
	3005	5/11/66	2	69

* au début de l'expérience

Fig. 14 : EVOLUTION DES QUANTITES DE MATIERES GRASSES ( ) ET DE LAIT (o) DU TAUX BUTYREUX (v) ET DU POIDS VIF (♦) AU COURS DE L'EXPERIENCE 3.



1/ Ration normale : Foin normal. concentré

2/)

3/) Ration condensée

4/)

5/)

6/ Ration normale : Foin normal. ensilage.

Au cours de la période expérimentale (foin condensé), la quantité de lait produite diminue de 11,4 p.100 par mois pour chacun des deux lots (figure 14). Cette baisse est légèrement supérieure à celle qui proviendrait de l'avancement du stade de lactation mais cela peut être dû aux changements fréquents de régime (toutes les 3 semaines). Toutefois, il faut noter que cette diminution a été moins importante qu'au cours de la période pré-expérimentale, quand la ration contenait une proportion élevée d'aliment concentré.

Lorsque les vaches sont passées du régime pré-expérimental au régime condensé la teneur en matières grasses du lait n'a pas diminué mais elle était faible à la fin de la période pré-expérimentale parce qu'elle coïncidait avec le minimum dû au stade de lactation et aussi, sans doute, parce que les vaches ingéraient une forte quantité d'aliment concentré (de 54 à 59 p.100 de la ration totale) pour couvrir leurs besoins. La teneur en matières grasses du lait a augmenté significativement lorsque les vaches ont reçu la ration normale de la période post-expérimentale : on peut en déduire que les aliments condensés ont provoqué une légère diminution de la teneur en matières grasses du lait; mais celle-ci est restée proche de la normale.

La composition en acides gras des matières grasses du lait, au cours de la période pré-expérimentale, a été affectée par la ration riche en aliment concentré. Il vaut donc mieux comparer la période expérimentale à la période post-expérimentale; cette comparaison peut être faite car on sait que le stade de lactation n'a pas d'effet sur la composition des matières grasses après la 8ème semaine de lactation (DECAEN et ADDA, 1966), quand le bilan énergétique reste équilibré (cf. pages 35 à 53).

Pour analyser d'une part l'effet des rations à base d'aliment condensé et d'autre part les différences entre les quatre régimes condensés, nous avons effectué une analyse de la variance en blocs sur la composition et la quantité sécrétée des acides gras au cours de l'ensemble des trois périodes. Par rapport au régime normal de la période post-expérimentale, les rations à base de foin condensé seul (A et B) ou associé à l'aliment concentré (C et D) ont provoqué une augmentation de la proportion des acides C_{12} ,

C_{14} et C_{16} (significative seulement pour C_{16}), des acides gras ramifiés et polyinsaturés en C_{18} et une diminution significative de la proportion des acides stéarique et oléique (tableau 18 - figure 15). La proprotion des acides gras courts est significativement plus élevée avec les aliments condensés (et surtout avec le régime pré-expérimental) qu'avec le régime normal de période post-expérimentale.

Avec les aliments condensés, la quantité de matières grasses diminue de 3,4 p.100 pour le groupe luzerne et augmente de 8,3 p.100 pour le groupe graminée. Au cours de cette période la quantité des acides gras courts et palmitique diminue et celle des acides stéarique et oléique augmente ($P < 0,05$)(figure 16).

Les différences individuelles sont très grandes, que ce soit pour l'évolution de la quantité de lait produite (diminution de 5,7 à 21,7 p.100 par mois) et la quantité de matières grasses (- 1,1 à - 21,1 p.100 par mois) ou pour les modifications de la teneur de ces dernières (de - 12,0 à + 2,8 g p.1000) sous l'action des régimes expérimentaux. Les coefficients de variations sont plus élevés, pour la teneur en matières grasses et la composition en acides gras du lait, au cours de la période expérimentale qu'au cours des périodes pré et post-expérimentales (tableau 19).

2/ Différences entre régimes

Le niveau d'ingestion est très élevé avec les aliments condensés, il est du même ordre quelle que soit la finesse de broyage du foin ou l'apport d'aliment concentré; il est plus faible avec les graminées qu'avec la luzerne : de 1,2 à 11,9 p.100 selon les régimes (tableau 20) La quantité de lait est identique sur les quatre régimes (tableau 20) mais la teneur et la quantité des matières grasses sont significativement plus faibles sur le régime D, qui contenait 50 p.100 d'aliment concentré.

Les proportions des acides stéarique et oléique dans les matières grasses (figure 15) et leur concentration (figure 17) sont significativement plus faibles avec les régimes C et D, dans lesquels l'aliment concentré

INFLUENCE DES REGIMES CONDENSES SUR LA COMPOSITION EN ACIDES GRAS DU LAIT ET SUR LA QUANTITE D'ACIDES GRAS SECRETEE

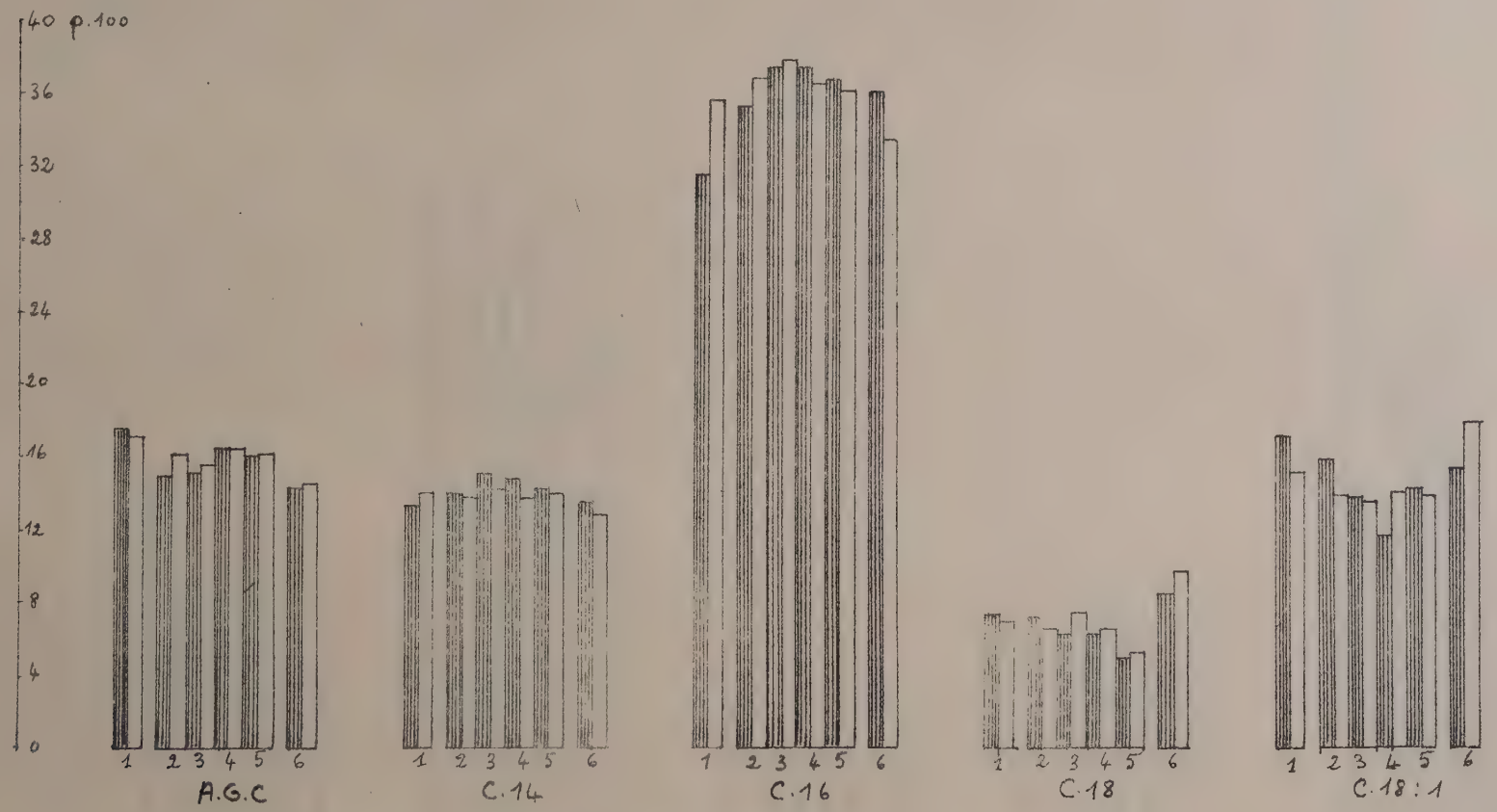
(Moyenne de 16 vaches)

REGIMES	PROPORTION DES ACIDES GRAS						QUANTITE SECRETEE (g/j)					
	Foin normal + concentré	Foin condensé		Foin + Concentré Condensé		Foin + ensilage	Foin + concentré	Foin condensé		Foin + Concentré Condensé		Foin + ensilage
		A	B	C	D			A	B	C	D	
C_2 et C_3	2,30	1,57	1,43	1,60	1,62	1,23	15,0	8,2	6,9	7,8	7,6	5,6
C_4	3,12	2,40	2,11	2,35	1,99	2,43	19,7	12,3	10,7	11,0	9,3	10,3
C_6	2,40	2,20	2,02	2,10	1,88	2,01	16,2	10,6	9,7	9,9	8,6	8,4
C_8	1,75	1,52	1,46	1,53	1,43	1,37	10,0	7,6	6,9	7,0	6,5	5,6
C_{10}	4,27	3,96	3,90	4,24	4,10	3,43	26,9	19,7	18,1	19,5	18,8	14,1
C_{12}	5,21	4,94	5,04	5,59	5,72	4,16	32,6	24,6	23,4	25,5	25,8	17,0
C_{14}	13,62	13,70	14,55	14,22	14,04	13,16	85,5	68,5	67,8	66,1	63,4	54,7
$C_{14:1}$	1,61	2,19	2,27	2,13	2,11	2,08	10,1	10,8	10,5	9,5	9,2	8,5
C_{15}	1,42	1,94	2,02	1,97	26,4	2,01	8,9	9,3	9,3	9,6	11,6	7,7
C_{16}	33,55	36,00	37,63	36,99	36,39	34,68	210,3	180,0	175,8	173,0	163,6	144,0
$C_{16:1}$	1,93	2,03	2,23	1,90	2,25	1,64	14,3	10,1	8,8	9,0	9,7	6,8
C_{17}	20,2	2,27	2,10	2,02	2,19	2,24	11,5	11,2	9,9	10,1	9,7	9,2
C_{18}	7,12	6,91	6,88	6,38	5,05	9,03	45,6	34,6	29,3	30,0	23,6	37,4
$C_{18:1}$	16,08	14,80	13,62	12,88	13,98	16,61	102,2	74,8	63,4	63,1	61,4	68,4
$C_{18:2}$	1,63	1,56	1,34	1,61	2,06	1,54	10,5	8,0	6,3	7,5	8,1	6,4
$C_{18:3}$	0,28	0,38	0,46	0,36	0,31	0,54	1,8	1,8	2,1	1,4	1,3	2,0
Autres	2,01	1,65	1,65	1,76	2,21	1,75	10,2	8,0	7,6	7,8	9,4	7,4

Fig. 15 : INFLUENCE DES ALIMENTS CONDENSES SUR LA COMPOSITION EN ACIDES GRAS DU LAIT

Foin luzerne

Foin graminée



1/ Ration normale : foin normal, concentré

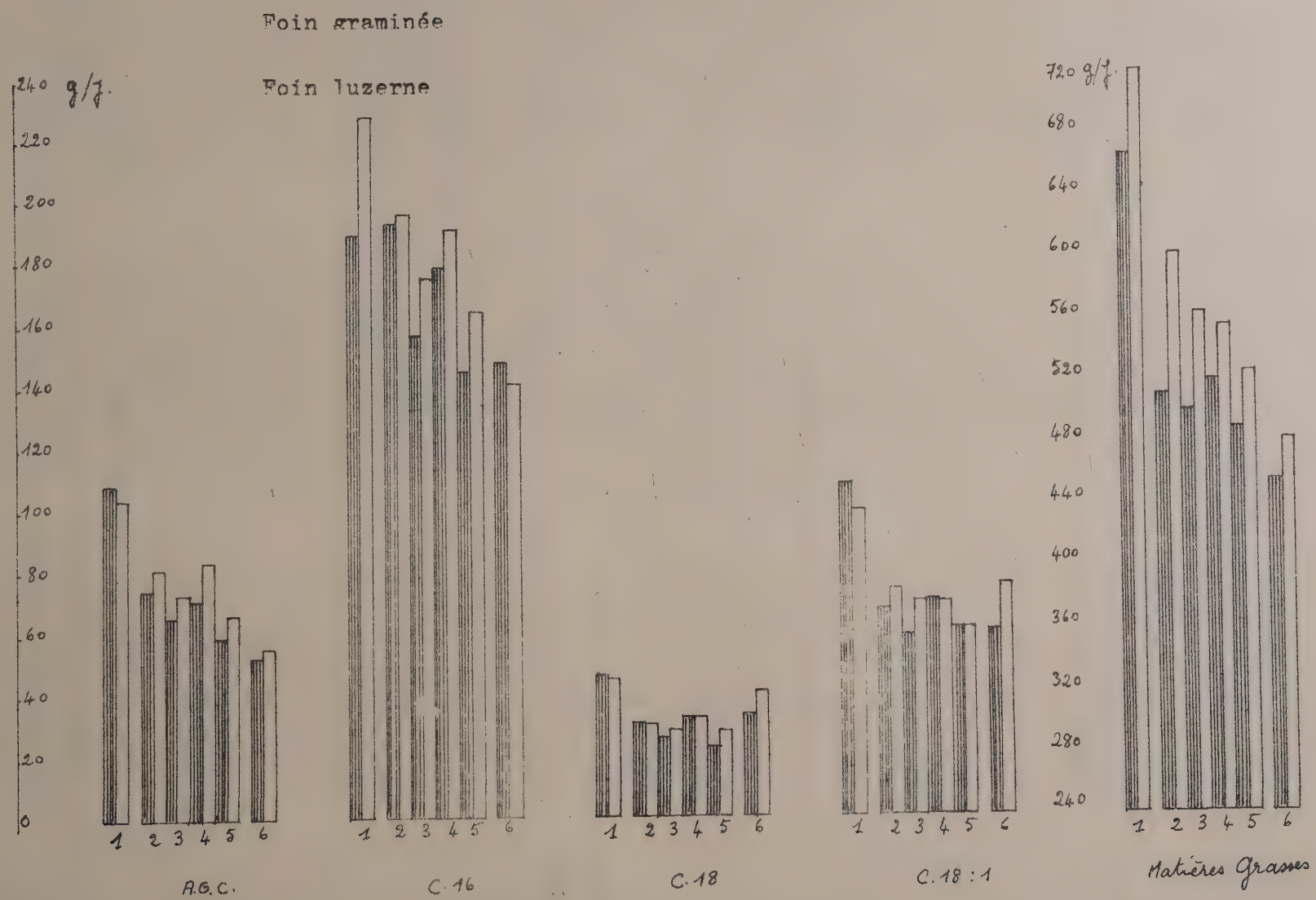
		*	**
2/	)	3	0
3/	) Ration condensée :	5	0
4/	)	10	30
5/	)	10	50

6/ Ration normale : foin normal, ensilage

* finesse de broyage en mm

** proportion d'aliment concentré

Fig. 16 : INFLUENCE DES ALIMENTS CONDENSES SUR LA QUANTITE DES ACIDES GRAS ET DES MATIERES GRASSES.



COEFFICIENTS DE VARIATION (C.V.) INTER-INDIVIDUELLE (16 vaches)
DE LA TENEUR EN MATIERES GRASSES ET DE LA PROPORTION DES ACIDES GRAS
POUR LES DIFFERENTS REGIMES, NORMAUX ET CONDENSES

Régimes	Teneur en matières grasses		Acides gras courts		Acide palmitique		Acide stéarique		Acide oléique	
	moyenne	C.V.	moyenne	C.V.	moyenne	C.V.	moyenne	C.V.	moyenne	C.V.
Foin + concentré	33,76	10,3	16,91	10,4	33,55	14,4	7,15	28,9	16,08	17,8
A 3mm*	36,25	11,9	14,88	10,0	36,00	9,6	6,91	20,1	14,80	16,5
B 5mm*	34,81	11,4	14,73	11,0	37,73	8,4	6,25	17,2	13,62	10,5
C 10mm* (30 p.100**)	34,84	13,1	15,83	8,3	36,87	7,9	6,39	22,4	13,45	15,9
D 10mm* (50 p.100**)	32,87	18,1	15,13	12,5	36,38	7,3	5,05	22,9	13,97	19,9
Foin + ensilage	39,06	9,4	13,43	7,2	34,68	6,6	9,03	18,6	16,61	12,2

* Finesse de broyage : diamètre des mailles de la grille du broyeur

** p.100 d'aliment concentré.

Tableau 20

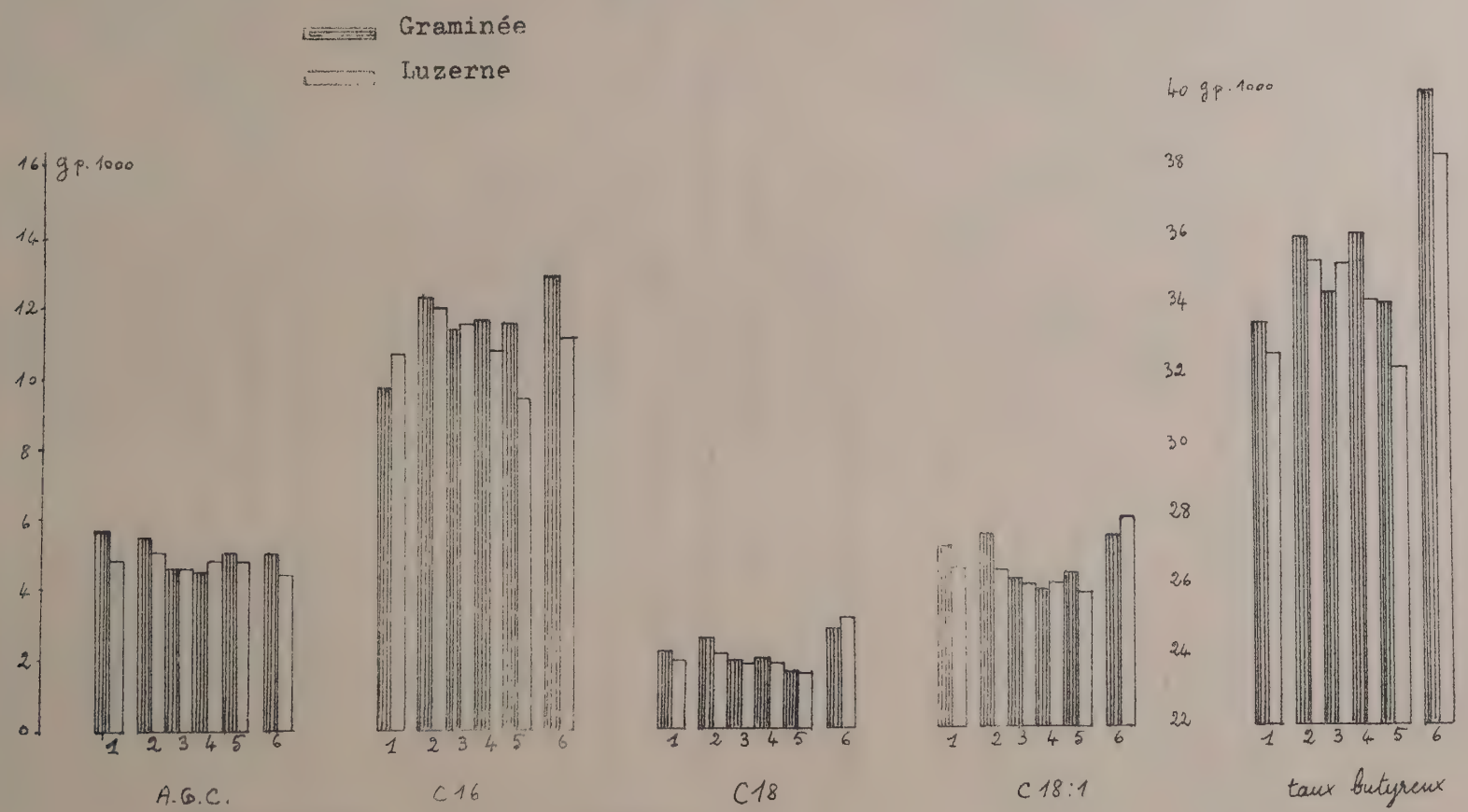
INFLUENCE DES REGIMES CONDENSES SUR LA PRODUCTION LAITIERE
ET SUR LA QUANTITE D'ALIMENT INGEREE

	Groupe luzerne						Groupe graminée					
Périodes	Pré-expérimentale	Expérimentale				Post-expérimentale	Pré-expérimentale	Expérimentale				Post-expérimentale
Régimes	F + A.C.	A	B	C	D	F + E	F.+ A.C.	A	B	C	D	F + E
Lait (kg/j)	22,4	16,8	16,7	16,7	16,4	12,8	20,1	14,4	14,3	14,8	14,3	11,4
Teneur en matières grasses (g p.1000)	32,5	35,7	34,4	33,5	32,6	38,2	33,4	36,1	35,7	35,9	34,3	40,0
Foin + ensilage (kg/j)	8,03[x]					14,89[x]	6,14[x]					16,89
Paille		1,46	1,15	0,58	0,43			0,68	0,57	0,50	0,45	
Aliment concentré (farine)	9,56	5,36	4,50	0,44		2,15	8,72	2,82	1,50		0,11	0,88
Aliment condensé :												
. foin		14,85	15,77	13,92	10,02			15,85	17,06	14,10	9,40	
. concentré				5,96	10,02					6,05	9,40	
Ration totale	17,59	21,67	21,42	20,90	20,47	17,04	14,86	19,36	19,13	20,65	19,23	17,78

A.C. : Aliment concentré
F : Foin
E : Ensilage
x : Foin seul

A - B - C - D : voir tableau 19

Fig. 17 : INFLUENCE DES ALIMENTS CONDENSES SUR LA TENEUR (G/L) DES ACIDES GRAS DU LAIT



1 - Ration normale : foin, concentré

2 -)
3 -) Rations condensées
4 -)
5 -)

3 : 0
5 : 0
10: 30
10: 50

6 - Ration normale : foin, ensilage

3, 5, 10 : Finesse de broyage

0, 30, 50 : Proportion d'aliment concentré

est aggloméré avec le foin, qu'avec le régime A. Il n'y a pas de différences significatives entre les quatre régimes pour les autres acides gras. Il n'existe pas non plus de différences significatives dans la composition des matières grasses entre les deux groupes (figure 15). Cependant, on remarque que la proportion d'acide palmitique est plus élevée et celle d'acide oléique plus faible chez les vaches recevant du foin de luzerne que chez celles ingérant du foin de graminée, alors que les proportions sont inverses avec le régime post-expérimental pour les deux groupes.

La quantité sécrétée de tous les acides gras, sauf celle des acides gras polyinsaturés, est maximum sur le régime A et minimum sur le régime D (les différences sont significatives entre ces deux régimes sauf pour les acides myristique et palmitique)(tableau 18). La nature du foin a une faible influence sur l'évolution quantitative des acides gras : la quantité d'acides gras courts et longs diminue beaucoup plus avec les graminées qu'avec la luzerne (figure 16); inversement la quantité d'acide palmitique diminue beaucoup plus avec les graminées qu'avec la luzerne (figure 16); inversement la quantité d'acide palmitique diminue beaucoup plus avec la luzerne.

3/ Relations interindividuelles observées

C'est avec le régime D à 50 p 100 d'aliment concentré que les liaisons sont plus étroites; la teneur en matières grasses du lait est liée positivement à celle en acides gras courts, en acide palmitique et en acide stéarique (respectivement r = + 0,895**, +0,966** et + 0,685**) mais pas à celle en acide oléique (tableau 21). La valeur élevée de ces liaisons est due en partie au fait que c'est avec ce régime que les variations de la teneur en matières grasses du lait et celles de la proportion des acides gras sont les plus grandes (tableau 19).

.../...

COEFFICIENTS DE CORRELATION INTER-INDIVIDUELLES (n = 16 vaches)
SUR LE REGIME CONDENSE D à 50 p.100 D'ALIMENT CONCENTRE

		Lait kg/j	Taux butyreux	Matières grasses
Teneur en matières grasses (g p.1000)			———	
Quantité de matières grasses (g/j)		———		———
Quantité de matière sèche ingérée (kg/j)		0,512*		0,515*
Proportion dans le lait	acides gras courts		0,523*	
	acide palmitique		0,681**	
	acide stéarique	0,391		0,537*
	acide oléique		-0,736**	
Quantité sécrétée (g/j)	acides gras courts	0,437	0,614*	0,752**
	acide palmitique	0,550*	0,606*	0,864**
	acide stéarique	0,504	0,497	0,765**
	acode oléique	0,705**		0,659**
Concentration dans le lait (g p.1000)	acides gras courts		0,895**	
	acide palmitique		0,966**	
	acide stéarique		0,985**	
	acide oléique			

* $P < 0,05$ ** $P < 0,01$

Les valeurs inférieures à 0,3 ne sont pas reportées.

DISCUSSION

Contrairement à la majorité des auteurs (cf. revues de KING et HEMKEN, 1962 - MOORE, 1964 - PALMQUIST, SMITH et RONNING, 1967) nous observons que la distribution d'une ration constituée de 93 à 97 p.100 d'aliment condensé ne provoque pas une diminution significative de la teneur en matières grasses du lait, sauf le régime D qui contient 50 p.100 d'aliment concentré. La teneur en matières grasses moyenne peut être considérée comme normale; elle est en effet voisine mais légèrement plus faible (2 g p.1000) qu'à la même période de la lactation précédente, des vaches considérées. Cependant, il faut noter que les variations individuelles sont très grandes et qu'il y a des différences entre les quatre régimes expérimentaux.

La divergence à propos des modifications de la teneur en matières grasses peut être attribuée : a) à la finesse de broyage, qui n'a pas été excessive (3 er 5 mm) alors qu'avec la grille à mailles de 1,5 mm les modifications de celles-ci sont plus importantes (RODRIGUE et ALLEN, 1960 - THOMAS et al., 1968) - b) à l'ingestion d'une petite quantité de paille (de 0,5 à 1,5 kg - tableau 20) à laquelle il faudrait ajouter une faible quantité de paille de la litière que nous n'avons pas mesurée - c) à l'association de l'orge au maïs dans le concentré (diversité des sources d'amidon), comme l'ont montré YADAGAI et LOOSLI (1967).

La diminution de la teneur en matières grasses dans le cas du régime D doit être due à l'incorporation d'une proportion élevée d'aliment concentré (50 p.100) avec le foin ainsi qu'à l'ingestion d'une quantité plus faible de paille (tableau 20). En effet, KING et HEMKEN (1962) ont observé que l'incorporation de maïs avec le foin condensé augmente l'effet dépressif de ces aliments sur la teneur en matières grasses; BERANGER et JARRIGE (1962) ont montré qu'une telle association provoque un changement important de la composition en acides gras volatils du rumen, caractérisée par une proportion faible de l'acide acétique et une proportion plus élevée de l'acide propionique.

.../...

Comment peut-on expliquer la variation de la composition en acides gras, sous l'action des aliments condensés, et ceci sans modification importante de la teneur en matières grasses du lait ? : a) Elle peut résulter d'une modification des fermentations digestives dans le rumen vers une plus forte production d'acide propionique; celle-ci inhiberait partiellement la mobilisation des réserves lipidiques (cf. plus loin) ce qui explique la diminution de la sécrétion des acides gras longs. Cependant, cette évolution n'aurait pas été suffisamment importante pour provoquer une déviation du métabolisme lipidique qui conduirait à la chute de la teneur en matières grasses du lait, comme c'est le cas avec les aliments concentrés - b) Du fait de la suralimentation des animaux, la glande mammaire aurait à sa disposition une quantité importante des acides acétique et β hydroxybutyrique pour assurer la sécrétion des acides gras courts et moyens. En effet, avec ces régimes les animaux ont eu un gain de poids inférieur à celui des animaux ingérant des rations contenant une proportion élevée d'aliment concentré (cf. plus loin, de 130 à 280 g par jour contre 620 g par jour) et de plus la sécrétion de lait était normale.

Nos résultats sur la composition en acides gras des matières grasses diffèrent quelque peu de ceux obtenus par KING et HEMKEN (1962) et DRONAWAT et al. (1966). Ces auteurs ont observé que les aliments condensés provoquent une diminution de la proportion des acides palmitique et stéarique et une augmentation de celle de l'acide oléique. Si nous observons une diminution de la proportion de l'acide stéarique, nous remarquons par contre une augmentation de la proportion de l'acide palmitique et une diminution de celle de l'acide oléique.

REGIME A BASE DE CEREALES

MATERIEL ET METHODES

La ration a été constituée de foin normal (fléole ou luzerne) et d'un aliment concentré à base d'orge distribués tous deux à volonté. Dans ces conditions les vaches ont ingéré peu de foin et beaucoup de concentré (86 p.100 de la ration totale). Nous avons utilisé successivement deux aliments concentrés pour voir l'influence éventuelle de la nature du complément azoté : le premier contenait de l'orge (77,8 p.100), du tourteau de soja (10,4 p.100), du tourteau d'arachide (10,4 p.100) et du complément minéral (1,4 p.100); la composition du deuxième était : orge (96,0 p.100), urée (2,6 p.100) et complément minéral (1,4 p.100).

Schéma expérimental

L'expérience comprend trois périodes :

- Une période pré-expérimentale, ou période de mise en régime, d'une durée de sept semaines, au cours de laquelle les animaux qui recevaient au préalable une ration à base d'herbe verte se sont adaptés à la ration expérimentale. Durant cette période les animaux ont reçu ad libitum (refus d'environ 15 p.100) le foin et l'aliment concentré. Ce dernier était constitué d'orge et de tourteau en cours des quatre premières semaines (2,5 semaines sous forme broyée et 1,5 semaine sous forme broyée et agglomérée) et d'orge par la suite. Au cours de la période pré-expérimentale, la quantité ingérée d'aliment concentré a augmenté alors que celle du foin diminuait (figure 18).

- Une période expérimentale de sept semaines, divisée elle-même en deux sous-périodes (de 4 et de 3 semaines) selon la nature du complément azoté, tourteaux ou urée, ajouté à l'orge. Durant cette période, la quantité ingérée a été assez constante et l'aliment concentré a représenté de 81 à 89 p.100 de la ration totale.

.../

- Une période post-expérimentale : durant cette période (5 semaines) on a diminué progressivement l'apport d'aliment concentré jusqu'à la suppression totale; en conséquence, les vaches, qui recevaient le foin à volonté en ont ingéré de plus en plus, de sorte que l'ingestion de matière sèche n'a pas diminué au cours des deux premières semaines de la période post-expérimentale. Elle a décru en fin d'expérience avec la suppression totale du concentré (figure 18).

Nous avons analysé les matières grasses du lait : 1) au cours de la période expérimentale, lorsque le régime foin et concentré ad libitum a été bien établi et que les teneurs en matières grasses du lait ont atteint une valeur très faible (19,5 g p.1000) - 2) pendant la période post-expérimentale lorsque la proportion d'aliment concentré est redevenue normale. Au cours de la période expérimentale, lors de chaque sous-période, nous avons effectué deux prélèvements de lait à intervalle de 7 jours et pendant la période post-expérimentale quatre prélèvements.

ANIMAUX

L'expérience a porté sur 12 vaches de race Frisonne-Pie-noire dont les caractéristiques figurent dans le tableau 22. Pour la période post-expérimentale nous n'avons retenu que 4 vaches, les autres étant à un stade de lactation trop avancé.

Au cours de toute la durée de l'expérience, les vaches ont été réparties en 2 lots égaux, celles du premier lot ont reçu du foin de fléole et celles du deuxième lot du foin de luzerne.

.../...

Tableau 22

CARACTERISTIQUES DES ANIMAUX

	Vache n°	Date de vêlage	N° de lactation	Stade de lactation*	taux butyreux*
Groupe fléole	241	30/3/66	9	166	16,9
	1042	20/4/66	2	145	29,2
	3016	25/1/66	1	230	16,6
	3142	7/2/66	1	217	18,4
	8470	26/3/66	6	170	25,7
	9161	11/3/66	4	185	21,7
Groupe Luzerne	46	18/2/66	9	206	24,5
	0056	9/4/66	3	156	22,6
	0103	3/5/66	4	132	16,9
	1053	18/3/66	2	178	25,3
	2038	14/2/66	1	210	18,6
	3020	28/5/66	1	107	18,9

* Au début de la période expérimentale

RESULTATS

PRODUCTION LAITIERE ET POIDS VIF

Dès la mise au régime, la quantité de lait, la teneur et la quantité de matières grasses diminuent (figure 18). La quantité de lait produite diminue à un rythme de 17,3 et 17,6 p.100 par mois, respectivement sur la fléole et la luzerne. La teneur en matières grasses du lait commence à diminuer au cours de la deuxième semaine de la période pré-expérimentale, lorsque les vaches ingèrent plus de 80 p.100 d'aliment concentré dans leur ration. Elle tombe à des valeurs moyennes de 19 et 20 g p.1000 à la fin de cette période. Corrélativement la quantité de matières grasses sécrétée décroît de 24,6 à 30,3 p.100 par mois, respectivement sur la fléole et la luzerne.

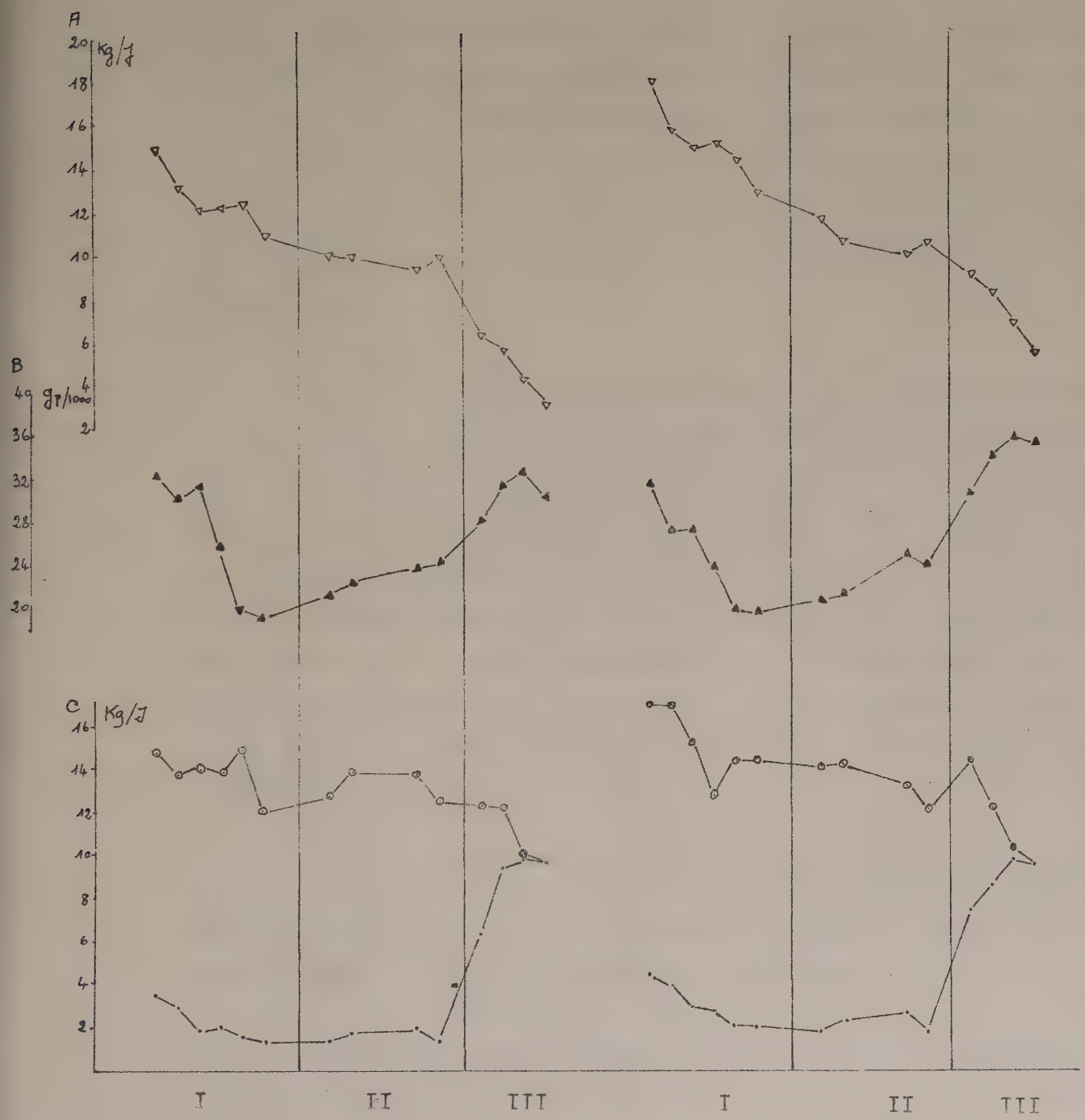
Durant la période expérimentale, la quantité de lait reste constante (figure 18); la teneur en matières grasses du lait est anormalement basse (en moyenne de 21 g p.1000), mais elle augmente légèrement (3 points en 5 semaines), avec l'aliment concentré "orge + urée" et, par conséquent, la quantité de matières grasses augmente.

Au cours de la période post-expérimentale lorsque la proportion de foin dans la ration augmente, la quantité de lait diminue d'abord faiblement et puis fortement lorsque les vaches ne reçoivent que du foin (figure 18); cette diminution est probablement due à une sous-nutrition énergétique; la teneur en matières grasses du lait augmente et atteint sa valeur normale (35 g p.1000); la quantité de matières grasses se maintient d'abord puis diminue dès la deuxième semaine.

Durant les périodes pré-expérimentale et expérimentale (98 jours) les vaches ont accru leur poids vif de 66 et 61 kg respectivement pour celles qui recevaient le foin de luzerne et le foin de fléole. Ce gain était essentiellement constitué par des lipides (REMOND, sous presse). Au cours des deux dernières semaines de la période post-expérimentale les vaches recevant

.../...

Fig. 18 : EVOLUTION DE LA QUANTITE DE LAIT (▽), DE LA TENEUR EN MATIERE GRASSE (▲) ET DES QUANTITES INGEREES DE FOIN (—) ET D'ALIMENT CONCENTRE, AU COURS DE L'EXPERIENCE 4.



I - Période pré-expérimentale : Foin et aliment concentré ad libitum

II - Période expérimentale.

III - Période post-expérimentale : Foin à volonté, aliment concentré limité.

du foin de fléole ont eu un poids vif constant, tandis que celles recevant du foin de luzerne ont perdu 15 kg.

COMPOSITION EN ACIDES GRAS DES MATIERES GRASSES

Nous avons groupé d'une part les résultats de 12 vaches au cours de la période expérimentale (tableau 23) et, d'autre part, ceux de quatre vaches pendant les périodes expérimentale et post-expérimentale (tableau 24). Les premiers résultats nous donnent les caractéristiques des lipides des laits à faible teneur en matières grasses avec un régime à base de céréales et, les seconds, les changements qui se produisent lorsque la teneur en matières grasses du lait revient à la normale, par suite du retour à un régime à base de foin.

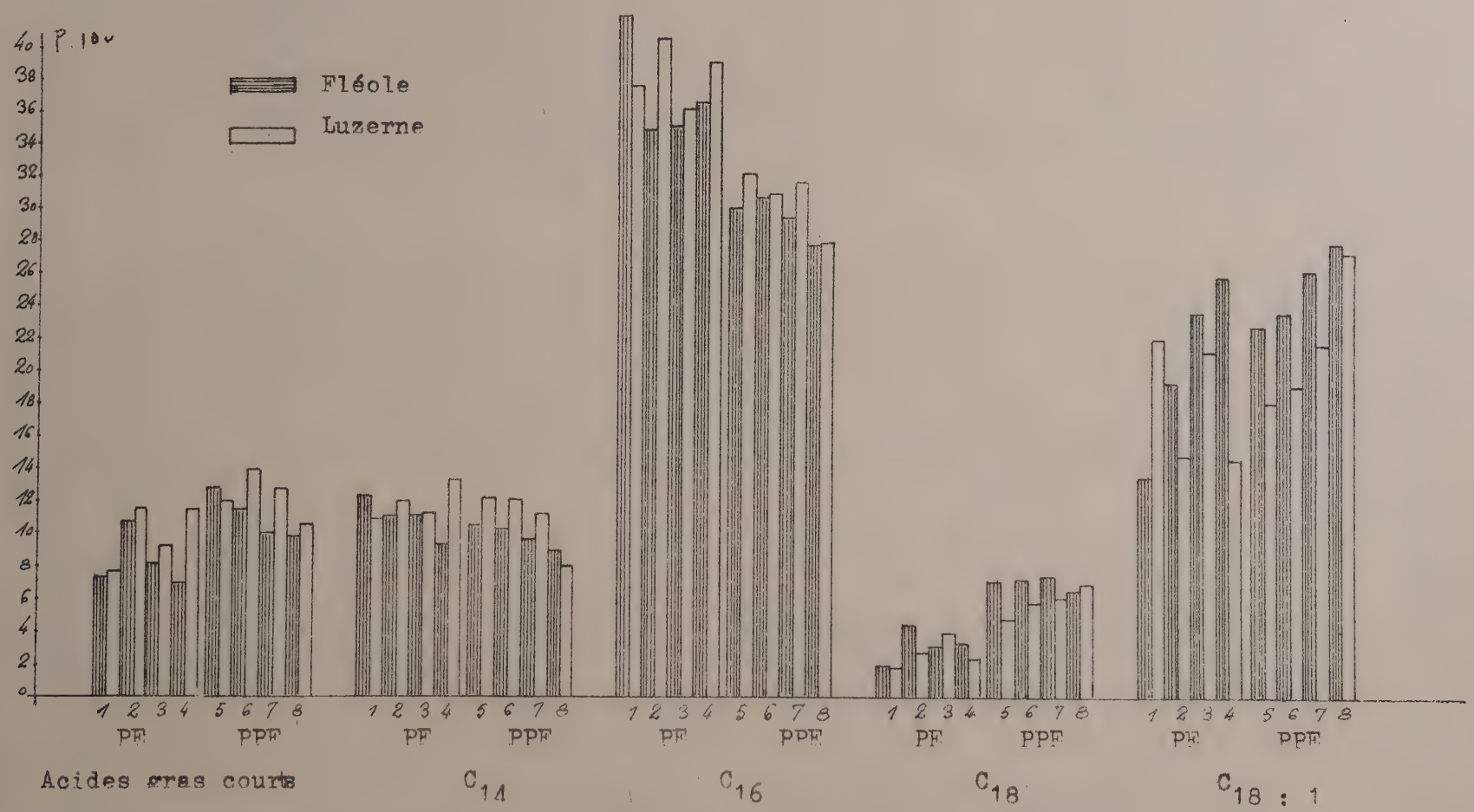
Au cours des deux premières semaines de la période post-expérimentale les matières grasses du lait ont une composition identique à celle des matières grasses produites sur nos régimes hivernaux. Par rapport à ces dernières, les lipides du lait à faible teneur en matières grasses sont caractérisés par une proportion élevée des acides palmitique et palmitoléique et une proportion plus faible des acides gras courts (C_4 à C_{12} inclus) et de l'acide stéarique (figure 19), et ceci pour toutes les vaches. Entre la dernière semaine de la période expérimentale et la deuxième semaine de la période post-expérimentale les proportions d'acide stéarique et d'acides gras courts augmentent respectivement de 120,0 et 35,7 p.100 et celles d'acides palmitique et palmitoléique de 18,4 et 9,3 p.100.

Les matières grasses du lait des vaches recevant du foin de fléole sont plus riches en acide oléique (2 points) et plus pauvres en acide palmitique que celles du lait des vaches recevant du foin de luzerne et ceci au cours de toute la durée de l'expérience (figure 19).

Pendant la dernière semaine de la période post-expérimentale, la proportion d'acides gras longs (C_{18} et $C_{18:1}$), sauf celle de C_{18} sur fléole, augmente au détriment des acides gras courts et palmitique probablement sous l'effet de la sous-nutrition.

.../...

Fig 19 : EVOLUTION DE LA COMPOSITION EN ACIDES GRAS DU LAIT, AU COURS DES PERIODES EXPERIMENTALES (1, 2, 3 et 4) ET POST-EXPERIMENTALES (5, 6, 7 et 8) (MOYENNE DE 2 VACHES PAR FOIN).



PE : Période expérimentale : foin d'aliment concentré ad libitum

PPE : Période post-expérimentale : Foin à volonté, aliment concentré limité.

VALEUR MOYENNE DE LA PROPORTION
ET DE LA QUANTITE JOURNALIERE DES ACIDES GRAS DU LAIT
AVEC UN REGIME A BASE D'ALIMENTS CONCENTRES (Moyenne de 6 vaches par foin)

	Proportion des acides gras				Quantité d'acides gras	
	Fléole		Luzerne		Fléole	Luzerne
	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	$\bar{x}$
C_2 , C_3	1,87	1,18	1,46	0,66	4,30	3,62
C_4	1,60	0,59	1,70	0,70	3,62	4,37
C_6	1,23	0,33	1,28	0,40	2,77	3,22
C_8	0,87	0,28	0,90	0,31	1,87	2,25
C_{10}	2,42	0,72	2,34	0,92	5,32	5,87
C_{12}	3,47	0,88	3,51	1,13	7,75	8,77
C_{14}	12,22	1,39	11,98	2,01	26,55	30,02
$C_{14:1}$	3,02	0,73	2,97	0,83	6,50	7,45
C_{15}	1,60	0,77	1,51	0,55	4,40	4,35
C_{16}	34,17	5,10	36,49	3,96	75,42	92,27
$C_{16:1}$	4,87	1,07	4,62	1,33	10,35	11,50
C_{17}	1,21	0,32	1,27	0,39	5,15	6,15
C_{18}	2,92	1,60	2,92	2,11	5,75	7,25
$C_{18:1}$	21,85	3,69	19,77	5,35	47,22	48,47
$C_{18:2}$	2,96	0,82	3,33	1,22	6,10	8,17
$C_{18:3}$	0,42	0,32	0,43	0,28	0,90	1,07
autres	3,32	0,17	3,50	0,10	4,72	4,97

σ : Ecart-type

INFLUENCE DES REGIMES A BASE D'ALIMENTS CONCENTRES
SUR LES PROPORTIONS ET LES QUANTITES D'ACIDES GRAS DU LAIT
(Moyenne de 4 vaches)

	Proportion des acides gras				Quantité d'acides gras	
	F+C à volonté (1)		F à volonté C limité (2)			
	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$ (1)	$\bar{x}$ (2)
C_2	1,62	0,79	2,53	0,77	4,20	5,42
C_4	1,77	0,61	3,17	0,57	4,60	6,77
C_6	1,28	0,32	1,94	0,31	3,32	4,32
C_8	0,85	0,23	1,10	0,23	2,27	2,40
C_{10}	2,13	0,54	2,66	0,76	5,72	5,95
C_{12}	3,14	0,66	3,22	0,87	8,27	6,52
C_{14}	11,47	1,22	10,38	2,09	29,27	22,82
$C_{14:1}$	2,81	0,60	2,55	0,47	7,32	5,52
C_{15}	1,35	0,51	1,89	0,33	4,45	4,70
C_{16}	37,65	4,54	30,02	2,75	95,37	64,35
$C_{16:1}$	4,79	1,21	3,40	0,84	11,90	6,92
C_{17}	1,25	0,37	1,13	0,20	6,12	6,27
C_{18}	3,11	1,35	6,57	1,34	7,95	13,72
$C_{18:1}$	20,15	4,42	23,38	5,50	50,07	46,70
$C_{18:2}$	2,90	0,40	1,93	0,64	7,22	4,27
$C_{18:3}$	0,42	0,12	0,53	0,24	1,05	1,17
autres	3,30	0,30	3,62	0,27	5,10	3,30

F : Foin C : Concentré

σ : Ecart-type

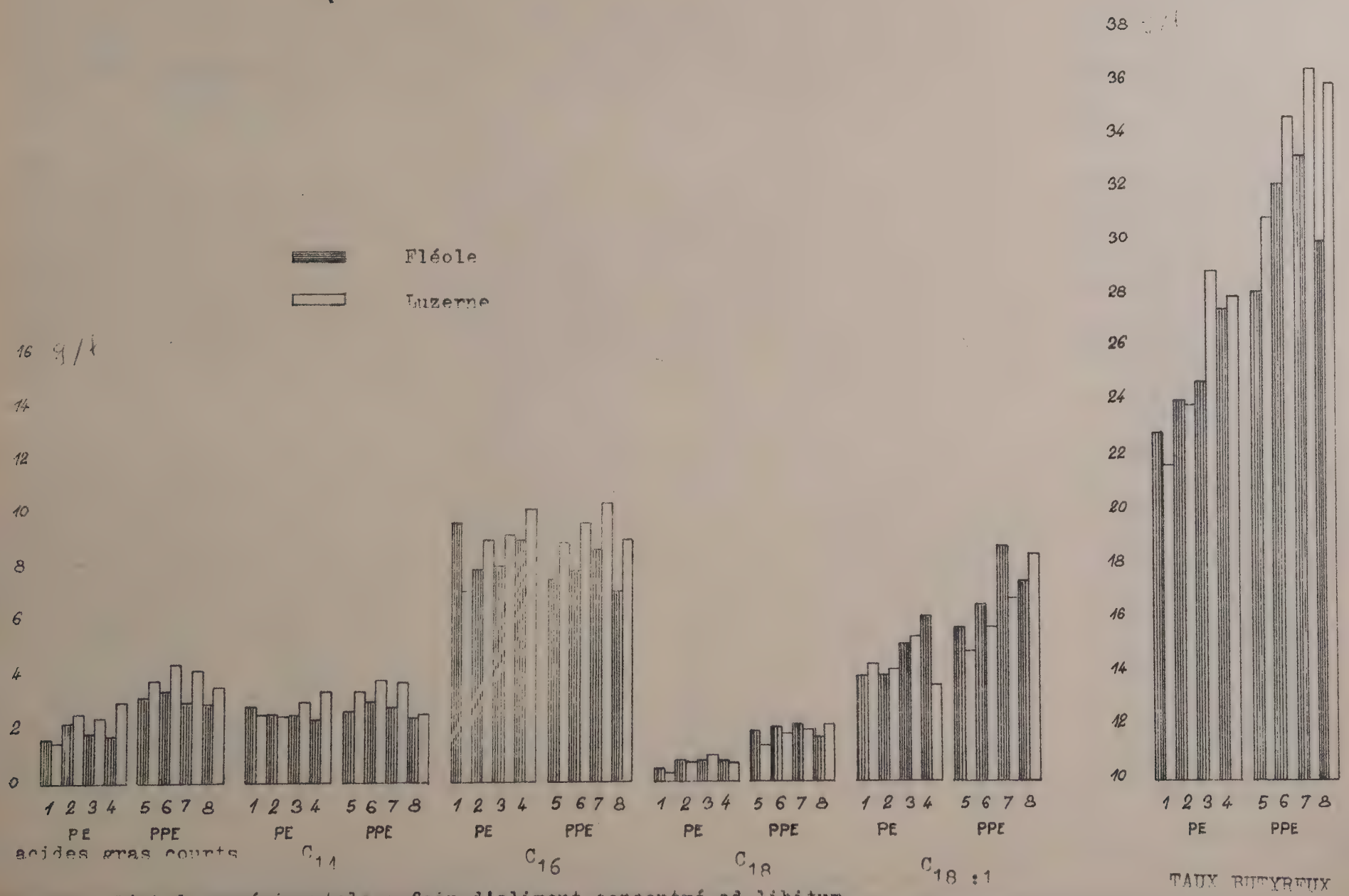
La faible teneur en matières grasses du lait au cours des deux premières semaines de la période expérimentale, avec l'aliment concentré contenant du tourteau est due à la faible teneur en acides gras courts et en acide stéarique (figure 20) et ceci pour toutes les vaches. Cependant, la distribution de l'aliment concentré "orge + urée" provoque une augmentation de la teneur en ces acides gras; celle en acides myristique et palmitique n'augmente que légèrement. Lors du retour au régime normal l'augmentation de la teneur en matières grasses du lait est due à celle en acides gras courts et longs (figure 20) : la teneur en acide stéarique double, entre la dernière semaine de la période expérimentale et la deuxième semaine de la période post-expérimentale; celle en acides gras courts et en acide oléique croît de 44,4 et 14,2 p.100 alors que la teneur en acide palmitique varie peu.

D'une manière générale, au cours des périodes expérimentale et post-expérimentale, la teneur en matières grasses du lait est étroitement liée à celle en acide stéarique, sauf pour la vache n° 1042 (tableau 25). Quant aux autres acides gras, les coefficients de corrélation ne sont significatifs que pour deux vaches.

Au début de la période expérimentale, une teneur en matières grasses faible et un lait pauvre en acides gras courts et longs, ont fait que la quantité sécrétée de ces acides gras a été extrêmement faible (figure 21 - tableau 23). Au cours de cette période la quantité d'acides gras totaux a cependant augmenté pour toutes les vaches; cette augmentation a été due en grande partie à l'accroissement de la quantité d'acides gras courts et longs, surtout chez les vaches recevant du foin de luzerne (tableau 23 - figure 21).

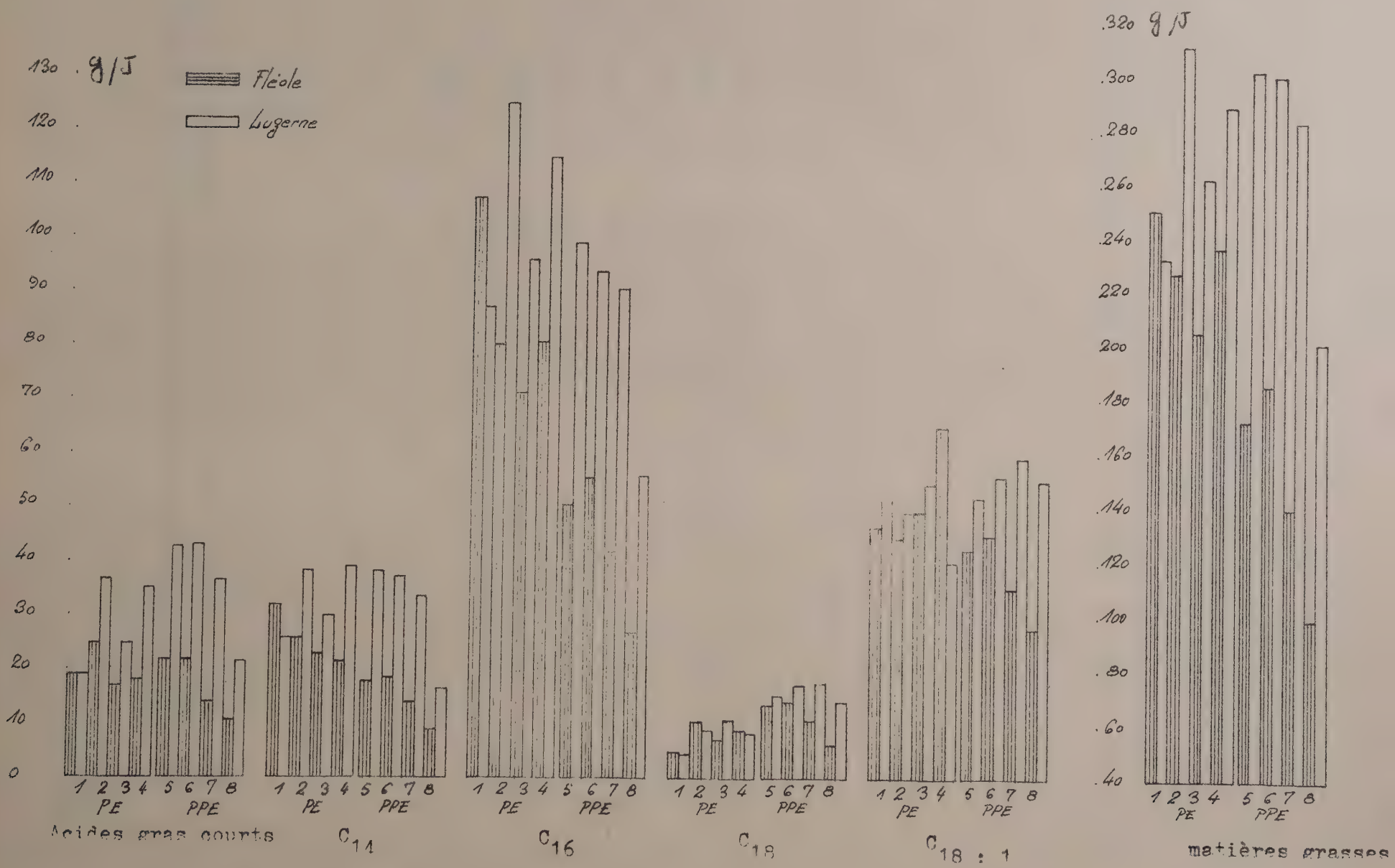
Nous avons estimé le déficit de la production d'acides gras au cours de la période expérimentale par rapport à la quantité qui aurait été sécrétée si le lait avait eu un taux butyreux normal (valeur intrapolée

Fig. 20 : EVOLUTION DE LA TENEUR EN ACIDES GRAS ET EN MATIERES GRASSES DU LAIT. AU COURS DES PERIODES EXPERIMENTALE ET POST-EXPERIMENTALE, MOYENNE DE 2 VACHES PAR FOIN.



PE : Période expérimentale : foin d'aliment concentré ad libitum
PPE : Période post-expérimentale : Foin à volonté, aliment concentré limité.

Fig. 21 : EVOLUTION DE LA QUANTITE DES ACIDES GRAS ET DE MATIERES GRASSES SECRETEES AU COURS DES PERIODES EXPERIMENTALE ET POST-EXPERIMENTALE. MOYENNE DE 2 VACHES PAR FOIN.



PE : Période expérimentale : Foin d'aliment concentré ad libitum

PPE : Période post-expérimentale : Foin à volonté, aliment

Tableau 25

COEFFICIENTS DE CORRELATION INTRA-INDIVIDUELLE ENTRE LE TAUX BUTYREUX ET LA TENEUR EN ACIDES GRAS AU COURS DE L'EXPERIENCE

	Fléole		Luzerne	
vache n°	241 n = 8	1042 n = 8	46 n = 8	3020 n = 7
Acides gras courts	0,817*	0,280	0,882**	0,700
Acide myristique	0,707	0,663	0,824*	- 0,244
Acide palmitique	0,950**	0,373	0,738*	0,574
Acide stéarique	0,900**	0,310	0,925**	0,927**
Acide oléique	0,983**	0,547	0,577	0,852*

* $P < 0,05$

** $P < 0,01$

entre les périodes pré et post-expérimentales) et la même composition en acides gras qu'au cours de la période post-expérimentale. Le déficit de production est du même ordre de grandeur pour les deux lots; il est beaucoup plus prononcé pour l'acide stéarique (61,9 et 66,8 p.100 respectivement sur luzerne et fléole) et les acides gras courts (43,3 et 48,7 p.100) que pour les autres acides gras : oléique (29,0 et 33,3 p.100) myristique (25,0 et 24,3 p.100) et surtout palmitique (5,9 et 15,4 p.100).

RELATIONS OBSERVEES

Durant la première semaine de la période expérimentale, le coefficient de variation est de 19,6 pour la teneur en matières grasses du lait. Il est plus grand pour la teneur en acides gras courts et en acide stéarique (respectivement de 44,2 et 48,0) que pour celle en acide palmitique (31,8) et surtout en acide oléique (17,9).

Lorsque les vaches ont sécrété un lait à faible taux butyreux (1ère semaine de la période expérimentale) nous avons cherché à voir les liaisons inter-individuelles (n = 12) qui existent entre la production et la composition du lait (tableau 26).

La quantité de lait produite est liée négativement à la teneur en matières grasses du lait ($r = -0,531^{+}$) et à la teneur en différents acides gras ($r = -0,494^{+}$, $-0,450^{+}$ et $-0,517^{*}$ respectivement pour les acides gras courts, stéarique et oléique). La teneur en matières grasses du lait est liée positivement aux teneurs en acides gras courts ($r = 0,593^{*}$), acide palmitique ($r = 0,853^{**}$), acide stéarique ($r = 0,606^{*}$) et acide oléique ($r = 0,524^{+}$).

.../...

Tableau 26

COEFFICIENTS DE CORRELATION INTER INDIVIDUELLE (n = 12 vaches)
SUR LE REGIME : ALIMENT CONCENTRE ET FOIN A VOLONTE
(1ère semaine de la période expérimentale)

		Taux butyreux	Quantité de matières grasses	Proportion dans le lait				Concentration dans le lait			
				A.G.C.	C_{16}	C_{18}	$C_{18:1}$	A.G.C.	C_{16}	C_{18}	$C_{18:1}$
Lait		-0,531+	0,665	-0,360		-0,312		-0,494+		-0,450+	-0,617*
Taux butyreux					0,352		-0,505	0,593*	0,853**	0,606*	0,524+
Quantité de matières grasses					0,622*		-0,549+	0,540+			
Proportion dans le lait	A.G.C.				-0,599+	0,741**		0,918**		0,743**	
	C_{16}					-0,484+	-0,593*	-0,330	0,762**		
	C_{18}							0,746**		0,932**	
	$C_{18:1}$							-0,304	-0,611*		0,449+
Concentration dans le lait	A.G.C.									0,870**	
	C_{16}										
	C_{18}										0,388

+ $< 0,10$ * $P < 0,05$ ** $P < 0,01$

A.G.C. : $C_4 + C_6 + C_8 + C_{10} + C_{12}$

Les valeurs inférieures à 0, ne sont pas reportées.

DISCUSSION

Nous trouvons, comme BALCH et al. (1952 - 1955a et 1955b), JORGENSEN et SCHULTZ (1963 - 1965), OLSON, HINNER et BERNET (1966a - 1966b) et OPSTVEDT et RONNING (1967), que les rations contenant une proportion élevée d'aliment concentré provoquent une chute de la teneur en matières grasses du lait. L'aliment concentré "orge + urée" a une action dépressive moins forte que celui "orge + tourteaux" ce qui est en accord avec les résultats de JORGENSEN, SCHULTZ et BARR (1965).

Nous observons, comme la plupart des auteurs (KING et HEMKEN, 1962 - JORGENSEN et SCHULTZ et BARR, 1965 - DAVIS et SACHAN, 1966 - OPSTVEDT et RONNING, 1967), que les proportions d'acides gras courts et d'acide stéarique diminuent. Contrairement aux résultats de KING et HEMKEN (1962) et de DAVIS et SACHAN (1966), mais en accord avec ceux de PALMQUIST, SMITH et RONNING (1964), nous trouvons que la proportion d'acide palmitique augmente et que celle d'acide oléique diminue.

Dans les conditions de notre expérience, l'amplitude des variations de la teneur en matières grasses et de la composition de celles-ci, essentiellement de leur pourcentage d'acide stéarique, est plus importante que celle observée par les autres auteurs. Cette accentuation pourrait provenir des conditions expérimentales.

1/ La plupart des expériences antérieures étaient de courte durée : 4 à 5 semaines (Mc COY et al., 1966 - OPSTVEDT et RONNING, 1967 ..) alors que dans la présente étude, les animaux ont été soumis à la ration expérimentale pendant 98 jours. D'ailleurs, COOK et MILLER (1965) avec une ration à base de concentré, chez le mouton et la chèvre, ont montré que l'importance des variations de la composition en acides gras volatils dans le rumen est fonction de la durée de l'expérience.

.../...

2/ La proportion de concentré dans la ration a été très élevée (86 p.100) ce qui a accru la diminution de la teneur en matières grasses du lait. Cette proportion élevée de concentré est due à ce que le foin et l'aliment concentré ont été distribués ad libitum et que le foin avait un coefficient moindre sur le taux butyreux (JOURNET et BERANGER, résultats non plubliés).

3/ La présentation des céréales sous forme condensée augmente leur effet dépressif sur la teneur en matières grasses du lait (HAWKINS et al., 1963) et c'est ce qui a sans doute provoqué la diminution brutale de celle-ci deux semaines après la distribution de la ration expérimentale (figure 18). Ce fait serait dû à une dextrinisation de l'amidon au cours du pressage sous l'action de la chaleur (BALCH et al., 1955).

La diminution de la teneur en matières grasses du lait et de la quantité de matières grasses sécrétée est due essentiellement à la diminution de la sécrétion de l'acide stéarique et des acides gras courts (à un moindre degré pour ces derniers); il en résulte une augmentation indirecte de la proportion de l'acide palmitique dans les matières grasses.

Par quels mécanismes les régimes à base de céréales provoquent-ils une diminution de la sécrétion à la fois d'acides gras courts et d'acide stéarique ?

La diminution de la sécrétion des acides gras courts peut provenir d'un apport plus faible des précurseurs de ces acides gras (acides acétique et β hubroxybutyrique) au niveau de la glande mammaire. On sait en effet qu'avec les aliments concentrés la proportion de l'acide acétique dans le rumen diminue au profit de l'acide propionique (cf. revue de REID, HOGAN et BRIGGS, 1957 - VAN SOEST, 1963 - POPE ET PHILLIPS, 1963 - EMERY, BROWN et THOMAS, 1964 ..). Cependant, la quantité d'acide acétique produite dans le rumen ne semble pas diminuer; la concentration en acides gras volatils du jus de rumen augmente généralement (DAVIS, 1966 - HUBER et BOMAN, 1966). L'évolution de la composition en acides gras volatils dans le rumen aurait

.../...

pour cause la diminution du pH et la modification de la flore microbienne, à la suite d'une part de la diminution du temps de consommation et parallèlement de la quantité de salive sécrétée (cf. revues de BALCH, 1958 - BAILEY, 1961 - MINSON, 1962 - MOORE, 1964) et d'autre part, de la production plus rapide d'acide (HUBER et BOMAN, 1966 - DAVIS, 1966).

Avec ces régimes on observe au niveau du sang une diminution des concentrations à la fois de l'acide acétique et de l'acide β hydroxybutyrique (ROOK, 1959 - VAN SOEST et ALLEN, 1959 - BENSADON, PALADINES et REID, 1962 - JORGENSEN, SCHULTZ et BARR, 1965 - STORRY et ROOK, 1965a) bien que cette baisse ne soit pas significative, au niveau de la mamelle; les différences artérioveineuses de l'acide acétique sont plus faibles (VAN SOEST et ALLEN, 1959). Mais la diminution de la teneur en acide acétique du sang est probablement due à l'augmentation de son utilisation par le tissu adipeux (cf. plus loin), tandis que celle des corps cétoniques serait en plus due à l'action anticétogénique de l'acide propionique, comme l'ont montré REID et MILLS (1961), LENG et ANNISON (1963) - STORRY et ROOK (1965).

Donc par suite de la diminution des acides acétique et β hydroxybutyrique, la glande mammaire serait carencée en ces métabolites, d'où résulterait la diminution de la sécrétion des acides gras courts.

La diminution de la sécrétion des acides gras longs du lait doit venir de ce que la mamelle ne peut pas en prélever suffisamment en raison d'une diminution des teneurs dans le sang. On a émis l'hypothèse d'une modification du métabolisme lipidique de l'animal sous l'influence de ces régimes (Mc CLYMONT et VALANCE, 1962). Il y aurait fixation plus importante de lipides par le tissu adipeux et diminution en conséquence des lipides circulants. Cette adipogénèse accrue aurait pour cause une production plus importante de glucose par le foie ayant principalement pour origine l'acide propionique produit dans le rumen. Le rôle de cet acide dans la chute de la teneur en matières grasses du lait a été montré par l'administration de propionate de sodium par les voies intra-rumen (SARRA, 1964 - STORRY et ROOK, 1965a et b - ROOK, BALCH et JHONSON, 1965) et intra-veineuse (STORRY et ROOK, 1965a - FISHER et ELLIOT, 1966 - FISHER, ELLIOT et CORSE, 1967).

.../...

Le propionate agirait par son effet glycogénique grâce à l'intervention des facteurs hormonaux et en particulier de l'insuline qui stimulerait l'adipogénèse (cf. revue de VAN SOEST, 1963).

Cette hypothèse peut être justifiée car : a) l'injection du propionate augmente la glycémie (STORRY et ROOK, 1965b - PHILLIPS et BALCH, 1967); b) LENT, STEEL et LUICK (1966) et BERGMAN, BOE et KON (1966) ont montré que 32 à 50 p.100 du propionate produit dans le rumen se convertit en glucose; c) la concentration en lipides du sang diminue lors des régimes riches en concentré (BALCH et al., 1955a - EMERY, BROWN et BELL, 1965 - DAVIS et SACHAN, 1966 - BROWN et STULL, 1966), et lors de l'injection de glucose essentiellement chez l'homme (cf. revues de LE BOEUF, 1965 - de CARLSON et BALLY, 1965 et de CHALMERS, 1965).

Récemment OPSTVEDT, BALDWIN et RONNING (1967) ont montré qu'avec les rations provoquant une chute de la teneur en matières grasses du lait l'activité de la déshydrogénase α - glycérophosphate et celle de nombreux enzymes de la synthèse des acides gras sont plus élevées, au niveau du tissu adipeux. Ceci explique la tendance des animaux à s'engraisser ainsi que la diminution de la concentration des précurseurs des acides gras courts dans le sang. L'activité de certains enzymes de la synthèse des acides gras diminue corrélativement au niveau de la glande mammaire.

Les résultats de REMOND (sous presse) avec les régimes utilisés dans cette expérience sont en accord avec le mécanisme décrit. En effet, REMOND observe une diminution de la proportion de l'acide acétique au profit de l'acide propionique dans le rumen et une lipogénèse accrue de telle sorte que les animaux du groupe fléole et luzerne ont utilisé respectivement 53 p.100 et 46 p.100 de l'énergie disponible pour leur engraissement et, de ce fait la sécrétion des matières grasses a diminué très rapidement d'abord, pour être stable par la suite, semblant ainsi s'adapter à la quantité d'énergie non utilisée pour l'engraissement.

La sécrétion des acides gras longs du lait ne diminue pas de la même façon pour tous les acides gras. Nous observons que la diminution de la sécrétion d'acides gras mono-insaturés à C_{18} ayant les mêmes origines que l'acide stéarique est moindre; ce qui pourrait s'expliquer par un apport important des précurseurs des acides C_{18} monoènes. Cette hypothèse peut être justifiée du fait que : a) le régime d'orge apporte environ 250 g d'acides gras totaux et 140 g d'acide linoléique (ces quantités sont estimées d'après les données sur les lipides de l'orge : MORRISON, 1959 - LINDBERG et al., 1964a et b - TANPUANPAA et LINDBERG, 1965 et d'après les quantités ingérées) - b) l'hydrogénation de l'acide linoléique n'est pas complète dans le rumen et donne naissance aux acides stéarique, oléique et élaïdique (WARD et al., 1963 - ROBERTSON et HAWKE, 1964) - c) à son tour l'acide stéarique subirait une déshydrogénation soit au niveau du tissu adipeux (LE BRETON, 1948), soit au niveau de la glande mammaire (LAURYSSEN et al. 1960 - ANNISON et al. 1967).

La sécrétion de l'acide palmitique serait normalement assurée grâce à son apport alimentaire (environ 60 g par jour).

On peut se demander pourquoi les vaches recevant de la fléole diminuent leur production laitière et ne mobilisent pas leurs réserves lipidiques pour des fins sécrétrices ? Il est possible que ce soit dû à l'apport moins important des matières azotées dans la fléole. En effet, il a été montré que la concentration des acides gras volatils dans le rumen est plus élevée avec les aliments riches en protéines (HUBER et BOMAN, 1966) et que la carence en certains acides aminés (méthionine) diminuerait la mobilisation des réserves lipidiques (cf. Mc CARTHY, PORTER et GRIEL, 1968).

L'augmentation de la teneur en matières grasses du lait au cours de la période expérimentale, n'est probablement pas due entièrement à l'avancement de la lactation car pendant les deux dernières semaines de la période expérimentale la proportion d'acide acétique a été plus élevée dans le rumen (REMOND, sous presse); mais aussi à la distribution de l'aliment concentré "orge + urée", comme l'ont montré JORGENSEN, SCHULTZ et BARR (1965).

Au cours de la période post-expérimentale, les vaches recevant du foin de luzerne produisent une quantité plus grande de lait et de matières grasses que celles recevant du foin de fléole, et ceci malgré des niveaux d'ingestion sensiblement identiques (figure 14). Avec la luzerne les animaux perdent environ 15 kg de poids vif, au cours des deux dernières semaines de la période post-expérimentale. Cette perte serait due à la mobilisation des réserves lipidiques. En effet, avec la luzerne la proportion d'acides gras longs est plus élevée au cours de cette période; de plus, pour des quantités sensiblement égales d'acides gras longs, pendant la période expérimentale (figure 17), la quantité de ces acides est beaucoup plus élevée avec la luzerne qu'avec la fléole à la fin de la période post-expérimentale.

DISCUSSION GENERALE

Jusqu'ici la plupart des auteurs ont étudié les variations de la composition en acides gras des matières grasses du lait en essayant de les relier soit aux qualités technologiques du beurre, soit à la composition en acides gras volatils dans le rumen ou à la composition du sang, mais simplement dans quelques cas particuliers. Par contre, il n'y avait pas d'études systématiques des variations de la composition en acides gras du lait dans des conditions très diverses d'alimentation et sur un nombre élevé d'animaux. Pour cette raison nous nous étions proposés :

1/ de mettre en évidence l'influence de quelques régimes importants, différant par l'apport de lipides, les caractéristiques de leur digestion ou le niveau nutritionnel et dont certains entraînent des modifications de la teneur en matières grasses du lait;

2/ d'utiliser ces résultats pour apporter une contribution à l'étude de l'origine des matières grasses du lait. Pour cela nous avons complété, dans certains cas, les mesures sur la composition des matières grasses par d'autres résultats (analyse du sang et des produits de la digestion et le bilan énergétique) effectués par nous-mêmes ou obtenus par les chercheurs de la Station, sur les mêmes animaux et au cours des mêmes expériences. Cependant, notre étude n'est pas complète; il aurait été souhaitable d'analyser pour chaque cas les acides gras volatils du jus du rumen et la composition des différentes fractions lipidiques dans le sang, ainsi que la glycémie; mais ceci n'a pas été possible pour des raisons techniques (mise au point des méthodes d'analyse) ou de volume de travail.

En ce qui concerne la méthodologie, l'aspect original de notre étude est : a) de séparer sur un seul chromatogramme tous les acides gras principaux du lait (de C_2 à $C_{18:3}$) grâce à la mise au point de l'analyse des esters butyliques des acides gras du lait en programmation de température -

b) d'étudier simultanément les variations de concentration dans le lait et de quantité sécrétée de chaque acide gras et pas seulement les proportions respectives des différents acides gras.

I - VARIABILITE DE LA SECRETION DES ACIDES GRAS

Du fait que nous avons étudié un grand nombre de régimes et chaque régime sur un nombre élevé d'animaux, nous pouvons donner un ordre de grandeur des variations possibles de la composition en acides gras du lait d'une part à l'intérieur d'un même régime et, d'autre part, entre les différents régimes.

Certains régimes étudiés étaient très particuliers (régime à base d'aliment concentré ou condensé) et nous les avons séparés des régimes normaux (régimes hivernaux à base de foin, d'ensilage et d'aliment concentré ou régime d'herbe).

1/ Variabilité intra-régimes.

Les variations de la composition en acides gras des matières grasses à l'intérieur d'un même régime, mesurées par le coefficient de variation (sur 16 à 95 échantillons par régime) sont comprises entre 5 et 68 p.100 selon les régimes et acides gras considérés (tableau 27). Les acides gras longs, oléique et surtout stéarique sont les plus variables, alors que les acides myristique et palmitique sont les moins variables.

Les variations de la concentration des différents acides gras (g/l) pour un même régime sont beaucoup plus grandes que celles de leur proportion dans les matières grasses : ceci en raison de la variabilité de la teneur en matières grasses du lait (tableau 28). Les coefficients de variation se situent entre 9,4 et 86,5 p.100 selon les régimes et acides gras considérés. Généralement quel que soit le régime alimentaire, les acides myristique et palmitique sont toujours moins variables que les acides gras courts, mais surtout que les acides gras longs (acide stéarique notamment).

Tableau 27

VARIATION DE LA COMPOSITION EN ACIDES GRAS DU LAIT AVEC LES DIFFERENTS TYPES DE RATIONS

			Nombre		Acides gras courts		C_{14}		C_{16}		C_{18}		$C_{18:1}$		$C_{18:2}$	
			animaux	échantillons	$\bar{x}$	C.V.	$\bar{x}$	C.V.	$\bar{x}$	C.V.	$\bar{x}$	C.V.	$\bar{x}$	C.V.	$\bar{x}$	C.V.
Régimes normaux	Régimes d'hiver	F+E+B+C	16		15,4	13,5	12,7	8,9	33,5	4,7	7,5	21,3	16,6	15,5	1,7	27,7
		F+E	16		13,4	7,2	13,2	4,5	34,7	6,6	9,0	18,6	16,6	12,2	1,5	28,2
		F+E+C en début de lactation		18	16,1	13,0	13,2	9,1	35,2	7,6	8,1	22,0	15,8	13,4	1,6	28,9
	Régime d'herbe			95	11,2	14,8	9,9	11,1	25,8	10,4	10,9	19,1	25,1	9,8	2,6	30,8
Régimes particuliers	Aliments condensés	3mm (1)	16		14,9	10,0	13,8	6,5	36,0	9,6	6,9	20,1	14,8	16,5	1,6	27,4
		5mm	16		14,7	11,0	14,6	5,9	37,6	8,4	6,3	17,2	13,6	10,5	1,4	30,7
		10mm 30p.100 (2)	16		15,8	8,3	14,6	6,3	36,9	7,9	6,4	22,4	13,5	15,9	1,5	24,5
		10mm 50p.100	16		15,1	12,5	13,7	9,4	36,4	7,3	5,1	22,9	14,0	19,9	2,2	27,9
	F+C à volonté	foin de luzerne		23	9,7	29,2	12,0	16,7	36,5	10,8	2,9	68,3	20,0	27,1	3,4	39,2
		foin de fléole		23	9,6	23,3	12,2	11,4	34,0	15,2	2,9	54,8	21,8	16,6	3,1	35,2

F : foin - E : ensilage - B : betteraves - C : aliment concentré

1 - finesse de broyage - 2 : proportion d'aliment concentré associé au foin

C.V. : coefficient de variation

Tableau 28

VARIATION DE LA TENEUR EN MATIERES GRASSES ET EN ACIDES GRAS DU LAIT AVEC LES DIFFERENTS TYPES DE RATION

			Teneur en matières grasses		Acides gras courts		C_{14}		C_{16}		C_{18}		$C_{18:1}$		$C_{18:2}$	
			$\bar{x}$	C.V.	$\bar{x}$	C.V.	$\bar{x}$	C.V.	$\bar{x}$	C.V.	$\bar{x}$	C.V.	$\bar{x}$	C.V.	$\bar{x}$	C.V.
Régimes normaux	Régimes d'hiver	F+E+B+C	36,3	7,2	5,0	16,1	4,1	12,0	10,6	13,7	2,4	21,5	5,3	14,2	0,5	27,2
		F+E	39,1	9,4	4,7	11,6	4,6	9,8	12,0	12,5	3,1	25,4	5,7	16,9	0,5	30,6
		F+E+C en début de lactation	37,9	10,8	5,4	16,3	4,4	14,2	11,9	12,7	2,8	28,8	5,3	16,9	0,5	31,5
	Régime d'herbe		38,4	10,9	3,9	17,3	3,4	16,0	8,8	17,0	3,8	25,3	8,6	14,7	0,9	29,4
Régimes particuliers	Aliments condensés	3mm (1)	36,3	11,9	4,8	15,5	4,4	13,2	11,6	17,0	2,2	19,3	4,7	20,0	0,5	29,3
		5mm	34,8	11,4	4,5	11,4	4,5	11,7	11,6	16,1	1,9	14,3	4,2	14,6	0,4	38,5
		10mm 30p.100 (2)	34,8	13,1	4,9	15,5	4,4	17,0	11,4	16,8	2,0	24,8	4,4	31,0	0,5	32,6
		10mm 50p.100	32,9	18,1	4,6	26,6	4,1	19,7	10,6	22,0	1,4	33,7	4,2	22,5	0,6	34,5
	F + C à volonté	foin de luzerne	23,6	23,5	2,1	44,3	2,5	31,6	7,9	28,2	0,6	86,5	4,1	35,7	0,6	38,9
		foin de fléole	23,2	18,9	2,0	27,8	2,5	20,0	7,0	30,8	0,6	56,5	4,5	21,6	0,6	26,9

F : foin - E : ensilage - B : betteraves - C : aliment concentré

1 : finesse de broyage - 2 : proportion d'aliment concentré associé au foin

C.V. : coefficient de variation

Les variations de la proportion et de la concentration des différents acides gras quel que soit l'acide gras considéré (acides gras courts C_{14} , C_{16} et $C_{18:1}$) sont beaucoup plus grandes avec les régimes particuliers qu'avec les régimes classiques. Les coefficients de variation restent compris entre 5 et 17 p.100 pour les régimes classiques mais ils sont de 6 et 36 p.100 pour les régimes à base de céréales.

2/ Variabilité entre régimes.

Entre les différents régimes étudiés, nous observons encore que la proportion de l'acide palmitique est la moins variable (de 1 à 1,5), celle de l'acide oléique varie de 1 à 2, tandis que la proportion de l'acide stéarique varie énormément (de 1 à 3,7).

La teneur des différents acides gras (g/l) est encore plus variable que leur proportion dans les matières grasses : les variations extrêmes des différents acides gras sont : acide palmitique (de 1 à 1,7), acide oléique (de 1 à 2), acides gras courts (de 1 à 2,5) et acide stéarique (de 1 à 6).

Les extrêmes des teneurs ou des proportions des acides gras longs (C_{18} et $C_{18:1}$) sont dues soit aux régimes d'herbe, soit aux régimes particuliers (céréales ou condensés). En effet, les variations entre régimes hivernaux classiques et avec des vaches en bilan énergétique équilibré sont faibles, de l'ordre de 3 à 6 p.100 et même nulles pour l'acide palmitique.

En conclusion, que ce soit pour un même régime ou entre régimes, certains acides gras sont plus variables que d'autres; ils se classent de la façon suivante par ordre croissant de variabilité : acide palmitique et myristique, acides gras courts, acide oléique et acide stéarique. Il semble donc que les acides gras les moins variables (C_{14} et C_{16}) sont ceux qui ont une double origine.

3/ Liaison avec les variations de la teneur en matières grasses.

Nous observons que les variations de la teneur en matières grasses du lait d'une vache à une autre, ou sous l'influence du stade de lactation ou du régime alimentaire, s'accompagnent le plus souvent d'une modification de la composition en acides gras du lait. D'une façon générale, les variations de la teneur en matières grasses sont dues à la fois à celles des acides gras longs et des acides gras courts, ou bien uniquement à l'une de ces deux catégories d'acides gras. Ainsi la diminution de la teneur en matières grasses au début de la lactation ou sous l'influence des régimes condensés (avec 50 p.100 de céréales) est due presque uniquement à celle des acides gras longs. Par contre, celle observée avec les régimes à base de céréales est due à la fois aux acides gras longs et aux acides gras courts. Mais dans presque tous les cas, lorsque la teneur en matières grasses du lait change, celle en acide palmitique varie peu.

Mais lorsque la teneur en matières grasses du lait ne varie pas ou peu, on observe parfois de profonds changements de la composition en acides gras du lait; les variations de la sécrétion d'une catégorie d'acide gras sont alors compensées par les variations en sens inverse d'une autre catégorie (exemple : la mise à l'herbe). C'est ce qui explique d'une façon très générale que la variabilité de la teneur en différents acides gras est beaucoup plus grande que celle en matières grasses du lait (tableau 28).

II - ORIGINE DES VARIATIONS DE LA COMPOSITION DES LIPIDES DU LAIT

Nos résultats confirment bien l'hypothèse émise par plusieurs auteurs selon laquelle les trois catégories d'acides gras, courts, moyens et longs, auraient des origines différentes. On observe en effet que les variations de la sécrétion de tous les acides gras d'une même catégorie sont toutes dans le même sens. On notera notamment que l'acide myristique et l'acide palmitique ont presque toujours varié parallèlement. Ce qui permet de penser que tous deux

ont bien les mêmes origines. En outre, parmi les acides gras courts du lait nous avons mis en évidence la présence des acides acétique et propionique.

A la lumière de nos résultats nous pouvons émettre les idées suivantes quant à la sécrétion des trois catégories d'acides gras par des vaches d'une capacité de production donnée.

La sécrétion des acides gras courts, par la mamelle, semble avoir un seuil maximum et paraît être sous la dépendance : a) de la quantité disponible de leurs précurseurs : c'est ainsi qu'avec les régimes à base d'aliment concentré ou dans le cas de sous-nutrition, la sécrétion des acides gras courts diminue - b) de la quantité captée des acides gras longs par la mamelle, comme c'est le cas avec le régime d'herbe où la sécrétion des acides gras courts diminue par suite de l'augmentation de la quantité des acides gras longs disponibles au niveau de la glande mammaire.

La sécrétion des acides gras longs peut varier d'une façon plus accentuée que celle des acides gras courts. Elle est fonction de la quantité de leurs précurseurs au niveau de la mamelle. Celle-ci dépend d'une part, de l'apport de lipides alimentaires et d'autre part, du métabolisme lipidique de l'animal. Il peut y avoir soit lipolyse des tissus adipeux sous l'influence d'une sous-nutrition énergétique, comme cela se passe au début de la lactation, soit au contraire une adipogénèse préférentielle notamment sous l'influence du régime alimentaire tels que les régimes à base de céréales.

La sécrétion des acides palmitique et myristique semble beaucoup plus stable : elle varie peu quel que soit le régime ou l'état nutritionnel.

En ce qui concerne les acides gras insaturés, il faut distinguer le cas de $C_{14:1}$ et $C_{16:1}$ et celui de $C_{18:1}$. D'une façon générale, nous observons que la sécrétion des acides monoènes ($C_{14:1}$ et $C_{16:1}$) varie comme celle des acides gras saturés courts et moyens; ceci permet de penser que ces acides sont synthétisés par élongation d'une chaîne moyenne

.../...

accompagnée d'une désaturation. Cependant, avec le régime d'herbe bien que la teneur en C_{16} diminue, celle en $C_{16:1}$ augmente légèrement, donc il semble que, dans ce cas, les désaturases de la mamelle ne sont pas touchées.

Le $C_{18:1}$, comme nous l'avons écrit dans la première partie, est issu à la fois de la saturation des acides polyinsaturés en C_{18} au niveau du rumen, et de la désaturation de C_{18} au niveau de la mamelle ou du tissu adipeux. Nous observons que lorsque les teneurs en acides gras longs augmentent le C_{18} et le $C_{18:1}$ varient dans le même sens et dans les mêmes proportions. En revanche, dans le cas contraire, la sécrétion de $C_{18:1}$ est moins touchée que celle de C_{18}.

Lorsqu'on analyse l'influence des régimes sur la sécrétion des acides gras par la mamelle, il semble important de bien distinguer le cas des régimes normaux (aussi bien les régimes hivernaux que les régimes d'herbe) de celui des régimes particuliers qui sont caractérisés par une action dépressive à la fois sur la quantité de lait et sur la teneur en matières grasses du lait.

1/ Avec les régimes qui assurent une sécrétion normale du lait et des matières grasses, l'apport des lipides alimentaires et le bilan énergétique sont les deux facteurs qui déterminent la composition en acides gras des matières grasses du lait. Ainsi lors de la mise à l'herbe l'apport des lipides alimentaires très riches en acide linoléique augmente (près de 3 fois). La proportion des acides gras longs dans le lait augmente au dépens des acides gras courts et moyens. Avec les régimes hivernaux à base de foin seul, ou de foin, d'ensilage et d'un aliment concentré, l'apport de lipides varie peu et les variations de la composition en acides gras sont faibles. Dans le cas de sous-nutrition la vache mobilise ses réserves lipidiques à des fins sécrétoires; c'est la raison pour laquelle au début de la lactation, chez les animaux en bilan énergétique négatif la concentration en acides gras libres du sang et la proportion de l'acide oléique dans le lait, sont plus élevées que chez ceux en bilan énergétique équilibré.

Ainsi chez les monogastriques et chez les ruminants, les lipides alimentaires et le bilan énergétique agissent de la même façon, sur la sécrétion des acides gras longs du lait, à cette différence cependant, que les acides gras insaturés sont hydrogénés partiellement au niveau du rumen.

Avec les régimes normaux la glande mammaire semble avoir une priorité quant à la couverture des besoins : elle semble s'adapter facilement et orienter son métabolisme lipidique en fonction des précurseurs mis à sa disposition.

2/ Avec les régimes particuliers, tels que les régimes à base de céréales, il semble que ceux-ci influent directement sur l'orientation du métabolisme lipidique de l'animal. Dans ce cas, il n'est pas possible de pallier une diminution de la teneur en matières grasses du lait en augmentant l'apport des précurseurs des acides gras courts ou l'apport d'acides gras longs dans la ration alimentaire. Cette supplémentation n'augmente que légèrement la sécrétion des acides gras correspondants et la teneur en matières grasses du lait; donc dans ce cas, ce n'est pas la diminution de la production des précurseurs des acides gras qui est en cause mais plutût une déviation du métabolisme lipidique vers l'adipogénèse accrue : le tissu adipeux ne libère plus d'acides gras longs et, de plus, il puise dans le sang les acides acétique et β hydroxybutyrique qui servent normalement à la synthèse des acides gras courts du lait. La déviation du métabolisme lipidique a pour cause initiale les changements des fermentations digestives dans le rumen et notamment une production beaucoup plus importante d'acide propionique aux dépens de l'acide acétique comparativement aux régimes normaux. L'acide propionique influerait sur le métabolisme lipidique par ses effets glucoformateur et anticétogénique.

Ainsi avec les régimes particuliers, la glande mammaire semble être passive quant à la captation des précurseurs des acides gras et subit les conséquences des modifications des fermentations digestives au niveau du rumen.

R E S U M E

L'objet de cette étude a été :

1/ de mettre au point une méthode d'analyse, adaptée à la série, permettant d'obtenir sur un seul chromatogramme tous les acides gras, y compris les acides gras courts qui sont caractéristiques des matières grasses du lait.

2/ d'étudier l'influence sur la composition en acides gras des matières grasses du lait et la quantité sécrétée des différents acides gras, des facteurs alimentaires responsables normalement de la modification de la teneur en matières grasses du lait, à savoir : l'état nutritionnel en début de lactation, le régime d'herbe et les régimes provoquant une baisse de la teneur en matières grasses du lait, tels que les régimes à base d'aliments condensés ou concentrés; cela, dans l'espoir d'en tirer quelques conclusions sur l'origine des différents acides gras du lait.

Cette étude a été réalisée sur 58 vaches (environ 340 échantillons individuels) alimentées individuellement en stabulation entravée.

Au préalable nous avons fait une étude bibliographique sur l'origine des acides gras et du glycérol et sur le mécanisme de leur estérification au niveau de la glande mammaire. Nous avons passé en revue l'influence des facteurs physiologiques (stade de lactation, race) et alimentaires (jeûne, mise à l'herbe, régimes pauvres en lipides et régimes provoquant une chute de la teneur en matières grasses du lait) sur la composition en acides gras des matières grasses du lait.

.../...

I - METHODE D'ANALYSE DES MATIERES GRASSES DU LAIT

La méthode générale consiste à estérifier les acides gras et à séparer le mélange d'esters par chromatographie en phase gazeuse. Au cours des dix dernières années la majorité des auteurs ont choisi l'analyse des esters butyliques. La séparation d'un mélange complexe d'acides gras tel que les matières grasses du lait, sous forme d'esters méthyliques pose de nombreux problèmes (volatilité, solubilité et difficulté de séparation des esters méthyliques des acides gras courts). C'est ainsi que dans la plupart des études la composition en acides gras des matières grasses n'est donnée qu'à partir de C_8 ou C_{10} . Nous avons mis qu point, en programmant la température des colonnes de 100 à 180°C, une analyse des esters butyliques qui permet d'obtenir sur un seul chromatogramme, la séparation de tous les acides gras principaux du lait (en 25 fractions de C_2 à $C_{18:3}$).

En outre, avec cette méthode nous avons pu déceler la présence d'acide acétique, en quantité appréciable, et celle d'acide propionique, en quantité moins importante, dans les matières grasses du lait.

D'après les hypothèses émises par plusieurs auteurs sur l'origine des acides gras, nous les avons groupés en trois catégories : acides gras courts (C_2 à C_{12} inclus) synthétisés par la mamelle, acides gras longs (C_{18} saturé et insaturés) ayant pour origine les lipides du sang et les acides myristique et palmitique provenant à la fois de la synthèse par la mamelle et des lipides du sang.

II - ETAT NUTRITIONNEL AU DEBUT DE LA LACTATION

Cette étude a été conduite, au cours des six premières semaines après vêlage sur 6 vaches réparties en deux lots : un lot en bilan fortement négatif et un lot en bilan presque équilibré. Durant les trois premières semaines, les animaux du lot en bilan négatif ont eu une production laitière plus élevée et ont perdu environ 30 kg de poids vif de plus que ceux du lot en bilan équilibré.

Les matières grasses du lait des vaches du lot en bilan négatif sont plus riches en acides gras longs et plus pauvres en acides gras courts et en acide palmitique que celles du lot en bilan équilibré. La teneur en matières grasses du lait diminue plus pour les vaches en bilan négatif (16 g p.1000 au cours des six premières semaines) que pour celles en bilan équilibré (6 g p. 1000); cette diminution est due en grande partie à celle des acides palmitique et oléique. La concentration des acides gras libres du sang est plus élevée chez les vaches en bilan négatif; il en est de même pour la corrélation entre la concentration des acides gras libres du sang et la proportion de l'acide oléique du lait.

Durant les six premières semaines de la lactation, l'intensité de la mobilisation des réserves lipidiques, due à la sous-nutrition joue donc un grand rôle dans l'évolution de la composition en acides gras du lait. Chez les animaux en bilan négatif, les acides gras libres du sang pourraient être les précurseurs des acides gras longs du lait, au même titre que les lipoprotéines.

III - PASSAGE DE L'ALIMENTATION HIVERNALE AU REGIME D'HERBE

Nous avons étudié la composition des acides gras du lait, au cours du passage de l'alimentation hivernale à l'alimentation à l'herbe, et au cours du permier cycle de végétation de trois espèces botaniques : ray-grass, luzerne et dactyle sur 16 vaches groupées en trois lots.

Au cours de la mise à l'herbe la teneur en matières grasses du lait augmente légèrement de 0,5 , 2,2 et 4,3 g p.1000 respectivement sur luzerne, dactyle et ray-grass. La variation de la composition en acides gras des matières grasses a été plus accentuée : la proportion des acides gras longs augmente (de 34,6 , 45,1 et 73,6 p.100), au détriment des acides gras courts (de - 21,4 , - 28,1 et - 26,3 p.100) et de l'acide palmitique (de - 16,9 , - 5,3 et - 24,6 p.100) respectivement sur luzerne, dactyle et ray-grass). L'augmentation de la teneur en matières grasses du lait est

uniquement due à celle de la sécrétion des acides gras longs, qui a été plus importante que la diminution de la sécrétion des acides gras courts et moyens.

L'augmentation de la sécrétion des acides gras longs du lait proviendrait des lipides apportés par l'herbe. La quantité de ces lipides a été estimée à environ 700 à 850 g/jour (dont les acides gras représentent 50 p.100 de ces lipides et l'acide linolénique 60 à 70 p.100 de ces acides gras), soit trois fois plus qu'avec la ration hivernale. La diminution de la sécrétion des acides gras courts et moyens aurait pour cause à la fois les changements des fermentations digestives dans le rumen et la captation d'une grande quantité d'acides gras longs par la mamelle.

Au cours du 1er cycle de végétation la composition en acides gras des matières grasses est stable et ceci malgré les différences entre espèces pour le niveau d'ingestion et l'état nutritionnel. Sur dactyle les animaux ont été en état de sous-nutrition mais grâce à la mobilisation des réserves lipidiques la composition en acides gras n'a pas varié.

IV - REGIMES PROVOQUANT UNE CHUTE DU TAUX BUTYREUX

Nous avons analysé l'effet des régimes provoquant généralement une modification importante de la sécrétion des matières grasses et en particulier une diminution considérable de la teneur en matières grasses du lait. La chute de cette teneur peut être occasionnée d'une part par certains traitements des fourrages, tels que le broyage et l'agglomération, et d'autre part en introduisant dans le régime des quantités importantes de céréales.

- Régime à base d'aliments condensés (broyés et agglomérés)

Nous avons étudié l'influence de la finesse de broyage du foin (3 et 5 mm), de l'association du foin avec l'aliment concentré (rapport du foin/aliment concentré:70/30 et 50/50) dans l'aliment condensé et de la nature du foin (légumineuse et graminée). Pour chacun des deux foins nous avons utilisé un dispositif expérimental en carré latin (4 x 4) : 4 régimes et 4 lots de deux vaches.

.../...

Contrairement aux autres auteurs, nous observons que les aliments condensés provoquent seulement une diminution légère de la teneur en matières grasses du lait, excepté si l'on associe beaucoup d'aliment concentré (50 p.100) au foin broyé et aggloméré. Cette divergence peut provenir : a) de la finesse de broyage qui n'a pas été excessive - b) de l'ingestion d'une certaine quantité de paille - c) de l'association de l'orge au maïs dans l'aliment concentré.

Bien que la teneur en matières grasses du lait varie peu nous observons une variation de la composition en acides gras des graisses du lait : la proportion des acides gras courts et des acides gras longs diminue au profit de l'acide palmitique. En désaccord avec la plupart des auteurs nous remarquons que la proportion de l'acide oléique diminue et que celle de l'acide palmitique augmente.

- Régime à base d'aliment concentré

Nous avons étudié la composition en acides gras des matières grasses du lait, chez deux lots de 6 vaches recevant du foin et un aliment concentré, distribués tous deux à volonté. Les animaux du permier lot ont reçu du foin de luzerne et ceux du deuxième lot du foin de fléole.

Avec la ration expérimentale (foin et aliment concentré ad libitum) les animaux ont ingéré beaucoup d'aliment concentré (86 p.100 de la ration totale) et peu de foin. Cette ration provoque une diminution de la quantité de lait et de la teneur en matières grasses du lait; cette dernière tombe à des valeurs minimum de l'ordre de 19 à 20 g p.1000. Les matières grasses de ces laits se caractérisent par une proportion élevée des acides palmitique et palmitoléique et une proportion faible des acides gras courts et des acides gras longs, notamment de l'acide stéarique. La chute de la teneur en matières grasses du lait est due en grande partie à celle de la sécrétion des acides gras courts et des acides gras longs. Les causes de ces modifications doivent être recherchées dans la diminution du rapport proportion d'acide acétique/proportion d'acide propionique dans les acides gras volatils du jus de rumen. Le rôle du propionate formé dans le rumen, glucoformateur (dans le foie) et anticétogénique paraît très important.

.../...

Dans la discussion générale, en comparant les résultats des quatre expériences, nous avons dégagé les faits suivants : a) la sécrétion des acides myristique et palmitique est la moins variable et celle des acides gras longs, acide oléique et surtout acide stéarique la plus variable - b) avec les régimes normaux l'apport lipidique de la ration et l'état nutritionnel de l'animal déterminent en majeure partie la composition des matières grasses du lait - c) les régimes à base de céréales ou aliments condensés, qui entraînent une diminution de la teneur en matières grasses du lait, modifient la sécrétion des différents acides gras par l'intermédiaire des fermentations du rumen.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABRAHAM S., MATTHES K.J., CHAIKOFF I.L., 1961. Effect of biotin and avidin on conversion of acetate to fatty acids and acetoacetate by preparation from rat liver and lactating rat mammary gland. Biochem.Biophys.Acta, 46, 197.

ADDA J., 1964. Die Fettsäuren der Triglyceride in der Kolostralmilch der Kuh. Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte, 16, 379-388.

ALLISON M.J., BRYANT M.P., BOETSCH R.N., 1962. Studies in the metabolic function of branched chain volatile fatty acides; growth factors for ruminococci. I. Incorporation of isovalerate into leucine. J. Bacteriol. 83, 523-532.

ANNISON E.F. 1954. Some observations on volatile fatty acids in the sheeps rumen. Biochem. J., 57, 400-405.

ANNISON E.F., LINZELL J.L., AZKAERLEY S., NICHOLS B.W., 1967. The oxydation and utilization of palmitate, stearate, oleate and acetate by the fed goat in relation to their over all metabolism, and the role of plasma phospholipids and neutral fat synthesis. J. Biochem., 102, 637-647.

ANTILA V., 1966. Fatty acid composition, solidification and melting of finish butterfat. Meÿeritiet. Aikakausk., 27 (1).

ARTAMENTOVA V., MARTYNUSHKINA A., 1966. Estimation of the composition of butterfat by gas chromatography. Moloch. Prom. 27 (6), 17-18 dans D.S.A. 3251, 28 (10).

AURIOL P., JARRIGE R., 1962. Possibilités de modifier la composition du lait. Extrait Fédération internationale de laiterie, partie II, I-39.

BAILEY C.B., 1961. Saliva secretion and its relation to feeding in cattle. 3. The rate of secretion of mixed saliva in the cow during eating, with an estimate of magnitude of total daily secretion of mixed saliva. Ibid. 15, 443-451.

BALCH C.C., BALCH D.A., BARTLETT S., COX C.P., ROWLAND S.J., 1952. Studies of the secretion of the milk of low fat content by cows on diets low in hay and high in concentrates. J. Dairy Res., 19, 39.

BALCH C.C., BARTLETT S., ZENA D., HOSKING V.W., JOHNSON S.J., ROWLAND S.J., TURNER J., 1955a. Studies of the secretion of milk of low fat content by cows on diets low in hay and high in concentrates. 5. The importance of the type of starch in the concentrates. J. Dairy Res. 22, 10.

BALCH C.C., BALCH D.A., BARTLETT S., BARTRUM M.P., 1955b. Studies of the secretion of milk of low fat content by cows on diets low in hay and high in concentrates. 6. The effect on the physical and biochemical processes of the reticulu rumen. J. Dairy Res. 22, 270.

.../...

BALCH C.C., ROWLAND S.J., 1959. Studies of the secretion of milk low fat content by cows on diets low in hay and high in concentrates. 7. The effect of administration of volatile fatty acids to cows giving normal milk and milk of low fat content. J. Dairy Res. 26, 162.

BALMAIN J.H., FOLLEY S.J., GLASCOCK R.F., 1954. Relative utilization of glucose and acetate carbon for lipogenesis by mammary gland slices studied with tritium, C^{14} and C^{13}. Biochem. J., 56, 234-239.

BARANOWSKI T., 1949. J. Biol. Chem., 238, 2774. Cité par TOVE (1965) dans Physiology of Digestion in the ruminant, 399-410.

BARRY J.M., BARTLEY W., LINZELL J.L., ROBINSON D.S., 1963. The uptake from the blood of triglyceride fatty acids of chilomicra and low density lipoproteins by the mammary gland of the goat. J. Biochem., 89, 6-11.

BATH I.H., HILL K.J., 1965. Ruminal lypolysis and hydrogenation in the sheep. Proc. Nutr. Soci., XII.

BATH I.J., HILL K.J., 1968, The lipolysis and hydrogenation of lipids in the digestive tract of the sheep. J.Agric. Sci., 139-148.

BATH I.H., ROCK J.A.F., 1965. The evaluation of cattle foods and diets in terms of the ruminal concentration of volatile fatty acids. II. Roughage and succulents. J. Agric. Sci. 64, 67-75.

BEITZ D.C., DAVIS C.L., 1964. Relationship of certain milk fat depressing diets of changes in the proportion of volatile fatty acids produced in the rumen. J. Dairy Sci., 1213-1216.

BELOUSON A.P., KURKOVA M.F., BAKSHEEVA V.N., 1966. Fatty acid composition of milk fat. Izv. Vjssh. Ucheb. Zaved. Pishch. Tekhnol. 3, 44-46 dans D. S.A. 3252, 28 (10).

BERANGER C., JARRIGE R., 1962. Utilisation des aliments broyés et agglomérés par les bovins. I. Comparaison du foin de luzerne normal et du foin de luzerne boryé dans l'alimentation du boeuf à l'engrais. Ann. Zootech. 11, 273-294.

BENSADON A., PALADINES O.L., REID J.T., 1962. Effect of level of intake and physical form of the diet on plasma glucose concentration and volatile fatty acid absorption in ruminant. J. Dairy Sci., 1203-1210.

BERGMAN E.N., ROE W.E., KON K., 1966. Quantitative aspects of propionate metabolism and glucogenosis in sheep. Amer. J. Physiol., 211, 793-799.

BORTZ W., ABRAHAM S., CHAIKOFF I.L., 1963. Localization of the blood in lipogenesis resulting from feeding fat. J. Biolo. Chem., 238, 1266-1272.

BOTTINO N.R., ANDERSON R.E., REISER R., 1965. Dietary fatty acids. Their metabolic fat and influence on fatty acid biosynthesis. J. Amer. Oil Chems. Soci., 42, 1124.

.../...

BROSTER W.H., SUTTON J.D., TUCK V.J., BALCH C.C., 1965. The effect of the addition of large amount of cod-liver oil to the rations of yearling heifers on their rate of live weight gain. J. Agric. Sci. 227-232.

BROWN W.H., STULL J.W., STOTT G.H., 1962. Fatty acid composition of milk. I. Effect of roughage and dietary fat. J. Dairy Sci. 191-196.

BROWN W.H., STULL J.W., DAFAALA F.L., RILEY P.W., 1966. Comparasion of milo and barley for lactating cows. J. Dairy Sci. 386-391.

BROWN W.H., STULL J.W., 1966. Bovine serum lipid analysis. J. Dairy Sci. 636-641.

CARLSTON L.A., BALLY P.R., 1965. Inhibition of lipid mobilization. Adipose Tissue 557-574 ed. RENOLD A.E.,CAHILL G.F., Amer. Physiol. Soci.

CHALMERS T.M., 1965. Lipid mobilization activity during fasting. Adipose tissue. 549-557 ed. RENOLD A.E.,CAHILL G.F., Amer. Physiol. Soci.

CHEVREUL M.E., 1823. Recherches chimiques sur les corps gras d'origine animale. Paris, LEVRULT, F.G.

CLEMENT G., BEZARD J., 1961. Technique de dosage par chromatographie gaz liquide d'un mélange d'acides gras, du butyrique au docosanoïque. Extrait des compte-rendus des séances de l'Académie des Sciences, 253, 561-566.

COOK R.M., MILLER L.D., 1965. Utilization of volatile fatty acids in ruminants. I. Removal of themfrom portal blood by the liver. J.Dairy Sci. 1339.

CUNNINGHAM H.M., LOOSLI J.K., 1954. The effect of fat feeding diets on young calves with observations on metabolic fecal fat and digestion coefficients for lard and hydrogenated coconut oil. J. Dairy Sci. 453-461.

CZERKAWSKI J.W., 1967. The effect of storage on the fatty acids of dried rye-grass. Brit. J. Nutr. 21, 599-608.

DAVIS C.L., 1966. Acetate production in the rumen of cows fed either control or low-fiber, high-grain diets. J. Dairy Sci. 1621-1625.

DECAEN C., ADDA J., 1966. Evolution de la sécrétion des acides gras des glycérides du lait de vache au cours de la lactation. 17ème Congrès Intern. de laiterie. 161-171.

DECAEN C., JOURNET M., 1967. Evolution au début de la lactation de la sécrétion des principaux acides gras du lait et de la concentration en acides gras libres du sang chez la vache. Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys. 131-143.

DECAEN C., POUTOUS M., 1965. Phase ascendante de la courbe de la lactation chez la vache laitière. Ann. Zootech., 135-143.

DECAEN C., 1968. Communication personnelle.

.../...

DE JOUNGE A.P., VERHAGE A., VAN DER VEN B., 1961. Acid anilides. VIII. Determination of esterified acetic and butyric acids in butterfat. Recueil, 1179-1185.

DE JOUNGE A.P., VAN DER DEN B., VERHAGE A., 1961. Acid anilides. IX. Application to the determination of free and esterified lower fatty acids in dairy products and in fats. Recueil 80, 1186-1206.

DELAGE J., FEHER P.M., 1967. Influence des acides gras alimentaires sur la composition de la matière grasse du lait de chèvre. C.R. Acad. Sci. Paris, t, 264, 1116, Série D.

DELAGE J. FEHR P.M., 1965. Influence de la composition lipidique du régime sur le taux butyreux du lait de chèvre. C.R Acad. Sci. Paris, t, 254, 981 Série D.

DE MAN J.M., 1961. Gas chromatography of the short chain fatty acids of milk fat. Milchwissenschaft, 16, 245.

DE MAN J.M., 1964. Determination of the fatty acid composition of milk fat by dual column temperature programmed gas-liquid chromatography, J. Dairy Sci. 546-547.

DEMARQUILLY C. JOURNET M., 1962. Variation de la composition de lait à la mise à l'herbe. 16ème Congrès Intern. de Laiterie, Section 1, 1, 33-48.

DEMARQUILLY C., 1963. Influence de la nature du pâturage sur la oproduction laitière et la composition du lait. Ann. Zootech. 12 (2), 69-104.

DEMARQUILLY C., 1967. Communication personnelle.

DIAMEN E., SMITH V.R, LARDY H.A., 1953. J. Biol. Chem. 201, 85.

DILS R., POPJAK G., 1962. Biosynthesis of fatty acids in cell free preparation. V. Synthesis of fatty acids from acetate in extract of lactating rat mammary gland. Biochem. J. 83, 41.

DILS R., CLARK B., 1962. Fatty acid esterification in lactating-rat mammary gland. Biochem. J. 84, 19P.

DOLE V.P., 1956. A relation between non esterified fatty acids in plasma and the metabolism of glucose. J. Clin. Invest. 35, 150-154.

DOLE V.P., MEINRTZ H., 1960. Microdetermination of long chain fatty acids in plasma and tissues. J. Clin. Invest. 253, 2595-2599.

DOLE V.P., RIZACK M.A., 1961. On the turnover of long chain fatty acids in plasma. J. Lipid. Res. 2, 90-91.

DRONAWAT N.S, STANLEY R.W., CO B E., MORITA K., 1966. Effect of feeding limited roughage and a comparaison between loose and pelleted pinapple hay on milk production, milk constituents, and fatty acid composition of milk fat. J. Dairy Sci. 49, 28-31.

.../...

EL SAZLY K., 1952. Degradation of protein in rumen of the sheep. I. Some volatile fatty acids, including branched-chaine isomers formed in-vivo. Biochem. J. 51, 640-647.

EMERY R.S., BROWN L.D., THOMAS J.W., 1964. Effect of sodium and calcium carbonates on milk production and composition of milk blood, and rumen contents of cows fed grain ad libitum with restricted roughage. J. Dairy Sci. 1325-1329.

FOLLEY S.J., 1954. Recherches récentes sur la physiologie et la biochimie de la sécrétion lactée. Ed. Deséor, Liège - Masson et Cie, Paris.

FISHER L.J., ELLIOT J.M., 1966. Effect of intravenous infusion of propionate or glucose on bovine milk composition. J. Dairy Sci., 806.

FISHER L.J., ELLIOT J.M., CORSE D.A., 1967. Fatty acid composition of bovine milk fat as influenced by intravenous infusion of propionate or glucose. J. Dairy Sci. 53-56.

FOLLEY S.J., FRENCH T.H., 1949. Acetate as a possible precursor of ruminant milk fat, particularly the short-chaine fatty acids. Nature, 163, 174-175.

FOLLEY S.J., FRENCH T.H., 1950. The intermediary metabolism of the mammary gland slices with special reference to milk fat synthesis. Biochem.J. 46, 465-473.

FOLLEY S.J., 1952. Aspect of fat metabolism in the ruminant with special reference to the biosynthesis of milk fat. Biochem. J. 51, XV.

FOLLEY S.J., Mc NAUGHT M.L., 1961. Biosynthesis of milk fat in milk. The mammary gland and its secretion. Ed. S.U. KON et A.T. COWIE, New-York and London. Academic press, Inc., vol. 1, Chap. 12, 440-482.

FRENCH T.H., POPJAK G., MALPRESS F.H., 1952. Biological synthesis of lactose from carbon 14 glucose. Nature 169, 71.

GANDER G.W., JENSEN R.J., SAMPUBNA J., 1962. Analysis of milk fatty acids by gas-liquid chromatography. J. Dairy Sci. 323-328.

GARTON G.A., 1963. The composition and biosynthesis of the lipids of milk lipids. J. Lipid Res. 237-254.

GARTON G.A., 1960. Fatty acid composition of the lipid of pasture grasses. Nature 187, 511.

GARTON G.A., LOUGH A.K., VIOQUE E., 1961. Glyceride hydrolysis and glycerol fermentation by sheep rumen contents. J. Gen. Microbiol. 25, 215.

GERSON T., SHORLAND F.B., WILSON G.F., REID C.W.S., 1968. Origin of glycerid fatty acids in cow milk fat. J. Dairy Sci. 356-361.

GLASS R.L., TROOLIN H.A., 1965. Dialkyl carbonate. Induced transesterification for analysis of fatty acids in milk. J. Dairy Sci. 1469-1472.

.../...

[illegible] the biosynthesis of milk fat. Biochem. J. [illegible] 1[illegible].

[illegible], Mc DAUGHT H.L., 1964. Biosynthesis of milk and its milk. The mammary gland and its secretion. Ed. S.K. Kon and A.T. Cowie, Academic and London. Academic press, Inc., New York, [illegible].

[illegible], POPLAK S., MALPRESS F.H., 1962. Biological synthesis of lactose from carbon 14 glucose. Nature 195, [illegible].

[illegible], CARPER G.A., 1958. The chemical composition of the lipids of milk lipids. J. Lipid Res. 2:[illegible]-[illegible].

[illegible], CARTON G.A., 1959. Dietary modification of the fatty acid composition of milk fat. Nature, London, [illegible], 511.

[illegible], CARTON G.A., [illegible] VIGONE E., 1964. Physiological [illegible] on lipoprotein lipase [illegible] J. Dairy Research 31, 395

GLASS R.L., JENNESS R., TROOLIN H.A., 1965. Simple method for analysis of the fatty acid composition of milk fats. J. Dairy Sci., 1106-1109.

GOUSOIS A., FELTS J.M., HAVEL R.J., 1963. Metabolism (12) 75 cité par ROBINSON D.S., Adv. in Lipid Res., 1, 133-182.

GUEHENNEUX A. , 1967. Rôle des catacholamines dans le métabolisme des acides gras non estérifiés (NEFA) chez le mouton anesthésié. Thèse Faculté mixte de médecine et de pharmacie de Lyon.

GUYOT A., 1965. Composition de la matière grasse des beurres belges et recherches des falsifications par chromatographie en phase gazeuse. J. de Pharmacie de Belgique 9-10, 367-396.

GUYOT A., PIRAUX E., 1964. Etude par la chromatographie en phase gazeuse de la matière grasse des beurres de laiterie belges. Premières applications à la recherche des falsifications. Extrait du bulletin de l'Institut Agronomique et des Stations de recherches de Gembloux. T. XXXII, 190-221.

GUYOT A.L., PIRAUX E.F., 1965. Chromatographie en phase gaz-liquide des principales graisses et huiles alimentaires. Remarques générales concernant la falsification des beurres à l'aide de plusieurs de ces graisses. Extrait du bulletin de l'Institut Agronomique et des Stations de recherches de Gembloux. T. XXXIII, 79-97.

HARDWICK D.C., LINZELL J.L., MEPHAN, 1963. The metabolism of acetate and glucose by the isolated perfused udder. II. The contribution of acetate and glucose to carbone dioxyde and milk constituents. Biochem. J. 83, 213-220.

HARTMANN P.E., LASCELLES A.K., 1964. The uptake plasma lipid and some non-lipid constituents by the mammary gland of the cow. Aust. J. Biol. Sci. 17, 935-944.

HARTMANN P.D., LASCELLES A.K., 1965. The effect of starvation on the uptake of precursors of milk fat by bovine mammary gland. Aust. J. Biol. Sci., 1025-1034.

HAVEL R.J., GOLDFIEN A., 1961. The role of the liver and of extrat hepatic tissues in the transport and metabolism of fatty acids and triglycerids in the dog. J. Lipid Res., 2, 389-395.

HAVEL R.J., 1965. Metabolism of lipids in chilomicrons and very low-density lipoproteins. Adipose Tissue. 399-408. Ed. RENOLD A.E.,CAHILL G.F., Amer. Physiol. Soci.

HEAD H.H., CONNOLY J.P., WILLIAMS W.F., 1964. Glucose metabolism in dairy cattle and the effect of acetate infusion. J. Dairy Sci. 1271-1277.

HAWKE J.C., 1957. The fatty acids of butterfat and the volatile acids formed on oxydation. J. Dairy Sci. 366-371.

HAWKE J.C., 1963. Studies on the proportion of New Zealand butterfat. J. Dairy Res. 67.

.../...

HAWKE J.C., ROBERTSON J.A., 1964. Studies on rumen metabolism. II. In-vivo hydrolysis and hydrogenation of lipid. J. Sci. Fd. Agric., 283-289.

HAWKINS G.E., PARR G.E., LITTLE J.A., 1963. Physiological reponses of lactating dairy cattle to pelleted corn and oats. J. Dairy Sci. 1073-1080.

HILDITCH T.P., WILLIAMS P.N., 1964. The chemical constitution of natural fats. IV ed. CHAPMAN et HALL, London.

HERB S.F., MAGIDMAN E., LUDDY F.R., RIEMESCHNEIDER R.W., 1962. Fatty acids of cow's milk. B. Composition by gas-liquid chromatography aided by other methodes of fractionation. J. Amer. oil. Chem. Soci., 39, 142.

HILDITCH T.P.n WILLIAMS P.N., 1964. The chemical constitution of natural fats. 4th. Ed. London, Chapman and Hall.

HIBBITT K.G., 1966. Some factors involved in the control of fatty acid synthesis in the lactating bovine mammary gland. Biochem. Biophys. Acta. 116, 56.

HORNING E.C., AHRENS J.R., MATTSON S.R., MEAD J.F., TURNER D.A., GOLDWATER W.H., 1964. Quantitative analysis of fatty acids by gas liquid chromatography. J. Lipid Res. 20-27.

HOSOGAI Y, 1964. Studies in colostric fat of cows in Japon. 2. Determination of fatty acid composition of colostric fat. Jap. J. Zootech. Sci., 35, 137-142.

HOWARD B.H., 1963. Hydrolysis of naturaly occuring galactosides by some rumen protozoar. Bioch. J. 89, 90P.

HUBER J.T., BOMAN R.L., 1966. Effect of grain level and protein content of grain for grazing cows on milk composition and yield, and certain blood and rumen constituents. J. Dairy Sci. 395-398.

IVERSON J.L., EISENER J., FIRESTONE D., 1965. Detection of trace fatty acids in fats and oils by urea fractionation and gas-liquid chromatography. J. Amer. Oil Chem. Soci. 42, 1063.

JACQUOT R., LE BARS H., SIMONNET H., 1960. Données générales sur la nutrition et l'alimentation. Vol. I Ed. Baillière, Paris.

JAMES A.T., MARTIN A.J.P., 1952. Gas-liquid partion chromatography : The separation and micro-estimation of volatile fatty acids from formic acid to dodecanoic acids. Biochem. J. 50, 679.

JANSEN G.R., HUCHISON C.F., ZANETTI M.E., 1966. Studies on lipogenesis in-vivo. Effect of dietary fat or starvation en convertion of C^{14} glucose into fat and turnover of newly synthetized fat. Biochem. J. 99, 323-332.

JARRIGE R., 1963. Les constituants membranaires des plantes fourragères. Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys., 143-150.

JARRIGE R., MINSON D.J., 1964. Digestibilité des constituants du ray-grass anglais S-24 et du dactyle S-37 plus spécialement des constituants glucidiques. Ann. Zootech. 117-150.

.../...

JARRIGE R., JOURNET M., 1959. Influence des facteurs alimentaires et climatiques sur la teneur en matières grasses du lait. Extrait des Annales de la Nutrition et de l'alimentation. Vol. XIII, A, 233-278.

JENSEN R.G., GANDER G.W., SAMP UGNA J., 1962. Fatty acid composition of the lipids from pooled raw milk. J. Dairy Sci. 329-331.

JENSEN R.G., QUINN J.G., GARPENTER D.L., SAMPUGNA J., 1967. Gas-liquid chromatographic analysis of milk fatty acids. A Revieuw J. Dairy Sci. 119.

JENSEN R.G. GANDER G.W., SAMPUGNA J., 1962. Fatty acid composition of the lipids from pooled raw milk. J. Dairy Sci. 329-331.

JORGENSEN N.A., SCHULTZ L.H., 1963. Ration effects on rumen acids ketogenesis, and milk compositinn. I. Unrestricted roughage feeding. J. Dairy Sci. 437-443.

JORGENSEN N.A., SCHULTZ L.H., BARR G.R., 1965. Factors influencing milk fat depresion on ration high in concentrates. J. Dairy Sci. 1031-1039.

JORGENSEN N.A., SCHULTZ L.H., 1965. Ration effects on rumen acids, ketosis and milk composition. II. Restricted roughage feeding. J. Dairy Sci. 1040-1045.

JOURNET M., DEMARQUILLY C., 1967. Valeur alimentaire des foins condensés. II. Influence du broyage et de la mise en agglomérés sur la digestion du foin de luzerne dans le rumen. Ann. Zootech. 16 (4), 307-327.

JOURNET M., JARRIGE R., 1960. Evolution de la sécrétion des matières grasses, des matières azotées et du lactose au cours du premier mois de lactation. Ann. Zootech. 19, 133-155.

JOURNET M., BERANGER C., Résultats non publiés.

JOURNET M., Résultats non publiés

JUNGAS R.L., BASS E.G. 1963. Studies on the metabolism of adipose tissue. XII. The effect of insulin and epinepherin on free fatty acid and glycerol production in the presence and abscence of glucose. 2, 383.

KAYSER C., 1963. Physiologie. Introduction historique fonction de nutrition. Ed. Médicales Flammarion

KEENEY M., KATZ I., ALLISON M.J., 1962. On the probable origin of some milk fat acids in rumen microbial lipids. J. Amer. Oil Chem. Soci. 39, 198.

KING R.L., HEMKEN R.A., 1962. Composition of milk produced on pelleted hay and heated corn. J. Dairy Sci. 1336-1341.

KNOX K.L., 1965. The metabolism of isotopically labeled volatile fatty acids and barley straw introduced into the rumen of lactating cows. D.A.S., 26, 2297.

KERKHOVEN E., DEMAN J.M., 1966. Composition of trisatureted glycerides of milk fat. J. Dairy Sci. 1086-1090.

.../...

KRONFELD D.S., 1965. Plasma non esterified fatty acid concentrations in the dairy cow. Reponses to nutritional and hormonal stimulation and significance in ketosis. Veter. Record. 77, 30-35.

KUZDZAL-SAVOIE S., 1959. Influence de la race des vaches laitières sur la composition de la matière grasse du lait et de la qualité du beurre. Ann. Technol. 1, 35-53.

KUZDZAL-SAVOIE S., 1959. Influence des races des vaches laitières sur la composition de la matière grasse du lait. Ann. Technol. 2, 193-222.

KUZDZAL-SAVOIE S., KUZDZAL W., 1961. Influence de la mise à l'herbe des vaches laitières sur les indices de la matière grasse du beurre et sur les teneurs en différents acides gras poly-insaturés. Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys. 1, 47-69.

KUZDZAL-SAVOIE S., 1964. Etude comparée des acides gras ramifiés des aliments et du lait chez la vache. Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys. 287-294.

KUZDZAL-SAVOIE S., 1964. Influence de la composition de la ration sur la composition chimique du beurre de vache. Thèse de doctorat es-sciences naturelles, 147 P.

LAMPILA M., 1964. Volatile fatty acids, pH and microbial activity in the rumen contents of the cow. Ann. Agric. Fenn. 3, Suppl. 3.

LAURYSSENS M., VERBEKE R., PEETERS G., REINARDS M.T., 1960. Incorporation of (1 C^{14}) and (3 C^{14}) butyrate into milk constituents by the perfused cow's udder. J. Dairy Res. 27, 151-160.

LAURYSSENS M., VERBEKE R., PEETERS G., 1961. Metabolism of steratate 1-C^{14} in the isoled cow's udder. J. Lipid Res. 2, 383.

LAURYSSENS M., PEETERS G., COUSSENS R., LOOSE R., 1956. In "Biochemical problems of lipids" (POPJAK G., LE BRETON E., eds) P. 213. Butterworths Scitific Publications, London.

LE BRETON E., CLEMENT J.C., 1948. La désaturase des acides gras supérieurs. Arch. Sci. Physiol. 243-255.

LE BRETON E., FERRET S., 1959. Quelques aspects actuels du problème des acides gras essentiels. La notion des familles d'acides poly-insaturés et ses conséquences. Expos. Ann. Biochim. Med., 21, 135.

LE ROY A.M., BONNET J., 1947. Influence de la teneur en matières grasses de la ration sur la production de matière grasse des vaches laitières. Ann. Agrono. 17, 455-476.

LENG R.A., ANNISON E.F., 1963. Metabolism of acetate, propionate and butyrate by sheep liver slices. Biochem. J. 86, 319.

LENG R.A., STEEL J.W., LUICK J.R., 1967. Contribution of propionate to glucose synthesis in sheep. Biochem. J. 103, 785.

.../...

LE BOEUF B., 1965. Regulation of fatty acid esterification in adipose tissue incubated in vitro. In adipose tissue 385-393, Ed. RENOLD A.D.,CAHILL G.F., Amer. Physio. Soci.

LINDBERGE P., BINGFORD S., LANNEK N., TANHUANPAA E., 1964a. The fatty acid composition of Sewedish varieties of wheat, barley, oats and rye. Acta Agric. Scandinavica 3, 11.

LINDBERGE P., TANHUANPAA E., WASS L., 1964b. The fatty acid composition of ripening grain. Acta Agric. Scandinavica, 3, 297-306.

LUICK J.R., KLEIBER M., 1960. The quantitative importance of plasma glucose for the synthesis of milk fat glycerol. Amer J. Physio. 198, 45.

LUICK J.R., LUCAS J.M., 1962. Further studies on milk fat synthesis. Proc. Soc. Exptl. Biol. Med. 110, 275.

LUICK J.R., SMITH L.M., 1963. Fatty acid synthesis during fasting and bovine ketosis J. Dairy Sci. 1251-1255.

LUICK J.F., KLEIBER M. 1961. The quantitative importance of plasma glucose for the synthesis of milk fat glycerol. Cité par LUICK J.R. in J. Dairy Sci. 652-657.

LUICK J.R., MOUSTGAARD J., 1962. Use of radioisotopes in animal biology and the medical science. Vol. 2, 167-184 New Academic.

LUICK R., 1961. Synthesis of milk fat in bovine mammary gland. J.Dairy Sci. 652-657.

MASCERO P., TURI R.M., MALETTO S., DURIO P., SARRA C., 1963. Variations in the fatty acids of milk secreted by goats given sodium acetate or propionate via the rumen or mammary gland. Anna. Facol. Med. Vet. di Torino Vol. XIII.

MATTSSON S., 1961. Lipids in milk. Internat. Dairy Federation Part. II, 1-16.

Mc DOWALL F.H., Mc GILLIVRAY W.A., 1963. Studies on the properties of New-Zealand butterfat. VI. Comparaison of the properties and vitamin A potencies of butterfats produced by clover-fed and rye grass-fed dairy cows. J. Dairy Res. 30, 47

Mc DOWALL F.H. Mc GILLIVRAY W.A., 1963. Studies on the properties of New-Zealand butterfat. VII. Effect of the stage of maturity of ryegrass fed to cows on the caracteristics of butterfat and its carotene and vitamin A contents. J. Dairy Res. 30, 59.

Mc DOWALL F.H., 1962. Studies on the properties of New-Zealand butterfat. V. The effect of stage of lactation. J. Dairy Res. 29, 307-320.

Mc DOWELL A.K.R., 1953. The properties of New-Zealand butters and butterfats. III. Seasonal variations in the nature of unsaturated acids of butterfat as estimated by spectrophotometric methods. J. Dairy Res. 101-107.

.../...

Mc COY G.C., THURMON H.S., OLSON H.H., REED A., 1966. Complete feed rations for lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 1058-1063.

Mc CLYMONT G.L., VALANCE S., 1962. Depression of blood glycerides and milk fat synthesis by glucose infusion. Proceed. Nutr. Soci. X1.

Mc CARTHY R.D., PORTER G.A., GRIEL Jr L.C., 1968. Bovine ketosis and depressed fat test in milk. A probleme of methionine metabolism and serum lipoprotein aberration. J. Dairy Sci. 459-462.

MEDVEDEV I.K., KALANTAR I.L., 1966. Corallation between the contents of free fatty acids and glucose in the blood of lactating cows. D.S.A., 3142.

MIRSKY A., 1965. Effect of biologically active peptides in adipose tissue. Adipose Tissue 407-415 Ed. RENOLD A.E., CAHILL G.F., Amer. Physio. Soci.

MINSON D.J., 1962. The effect of pelleting and wafering on the feeding value of roughage. A review. Contribution N. 84. Animal Research Institute, Canada Depart. of Agric. Ottawa, Ontario.

MOORE L.A., 1964. Symposium on forage utilization. Nutrition value of forages affected by physical form. Part I. General principales involved with ruminants and effect of feeding pelleted or wafered forage to dairy cattle. J. Animal Sci. 23, 230-238.

MOORE L.A., STEELE W., 1968. Dietary fat and milk fat secretion in the cow. Proceed. Nutrit. Soc. 66-70.

MORRISON F.B., 1959. Feeds and feeding. 22end ed. The Morrison Publiching Company, Ithaca, New-York.

NIKI T., FURUICHI E., AMANO Y., SAITO K., 1966. Studies on the composition of colostral milk lipid in Japan. 17ème Congrès International de Laiterie. 269-280.

OLSON J.A., 1966. Lipid metabolism. Ann. Rev. Biochem. 35, 559-598.

OLSON J.J., HINNER R.C., BERNETT R.C., 1966. Ad libitum versus restricted concentrate feeding of lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 110-113.

OLSON J.J., REED A., BENSON H., 1965. Comparison of ad libitum grain and restricted roughage feeding with conventional dairy cattle feeding practices. J. Dairy Sci. 345-354.

OPSTVEDT J., BALDWIN R.L., RONNING M., 1967. Effect of diet upon activities of several enzymes in abdominal adipose and mammary tissues in the lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 108-109.

OPSTVEDT J., RONNING M., 1967. Effect upon lipid metabolism of feeding alfalfa hay or concentrate ad libitum as the sole feed for milking cows. J. Dairy Sci. 345-354.

.../...

PALMQUIST D.L., SMITH L.M., RONNING M., 1964. Effect of time of feeding concentrates and ground pelleted alfalfa hay on milk fat percentage and fatty acid composition. J. Dairy Sci. 516-520.

PARKS P.P., RIEWE M.E., CARL M., LYMAN, KUNKEL M.L., 1964. Variations in the intraruminal fatty acid and rations of sheep fed ryegrass harvested at differents stage of maturity. J. Ann. Sci. 344-349.

PATTON S., Mc CARTHY R.D., EVANS L., LYNN T.R., 1960. Structure and synthesis of milk fat. A. Gas chromatographic analysis. J. Dairy Sci. 1187-1195.

PATTON S., Mc CARTHY R.D., 1963. Structure and synthesis of milk fat. VI. Role of the mammary gland with special reference to cholostol esters. J. Dairy Sci. 396-400.

PASCAUD M., 1963. Chromatographic investigations in fatty acid biosynthesis. Adv. in Lipid Res., 1, 253-284.

PATRUCCO C., DURIO P., MALETTO S., MANTELLINO S., 1963. Synthesis of fatty acids in the lactating goat given sodium acetate via the rumen or mammary gland. Ann. Fac.Med.Vet.Torino 13, 101-107.

PEHRSON B., CARLSTROM G., 1966. Composition of milk fat in normal, ketosis and fasting cows. Acta Vet. Scandinavica, 7, 180-186.

PHILLIPS R.W., BALCH A.L., 1966. The effect of volatile fatty acids on plasma glucose concentration. Comp. Biochem. Physiol. 18, 527-536.

POPJAK G., FRENCH T.H., FOLLEY S.J., 1951a. Utilization of acetate for milk fat synthesis in the lactating goat Biochem. J., 48, 411-416.

POPJAK G., FRENCH T.H., HUNTER G.D., MARTIN A.J.P., 1951b. Mode of formation of milk fatty acids from acetate in the goat. Biochem. J. 48, 612-618.

RABEN M.S., 1965. Regulation of fatty acid release with particular reference to pituitary factors. Adipose Tissue 331-333. Ed. RENOLD A.E. CAHILL G.F. Amer. Physiol. Soci.

RABEN M.S.n HOLLENBERG C.H., 1960. Effect of glucose and insulin on the esterification of fatty acids by isolated adipose tissue. J. Clin. Invest. 39, 435.

RADLOFF H.D., SCHULTZ L.M., 1966. Hormonal regulation of plasma free fatty acid concentration in ruminant. J. Dairy Sci. 971-975.

RADLOFF H.D., SCHULTZ L.M., 1967. Blood and rumen changes in early stage of ketosis. J. Dairy Sci. 68-72.

READ W.W.C., SARRIF A., 1965. Human milk lipids. I. Changes in fatty acid composition of early colostrum. Amer. J. Nutr. 17, 177-179.

REID R.L., HOGAN J.P., BRIGGS P.K., 1957. The effect of diet on individual volatile fatty acids in the rumen of sheep, with particular reference to the effect of low rumen pH and adaptation on high-starch diets. Aust.J.Agric. Res.8,691.

REID R.L. MILLS S.C., 1961. Studies in the carbohydrate metabolism of sheep. 13. The interrelation of changes in the levels of metabolic intermediates after intravenous injection of propionate, succinate and malate. Aust. J. Agric. Res. 913-926.

.../...

REMOND B., 1968. Sous presse.

RIIS P.M., LUICK J.R., KLEIBER M., 1959. The role of plasma lipids in transport of fatty acids for butterfat formation. Amer. J. Physio. 198, 45.

RIIS P.M., 1962. Investigations on lipid metabolism in cattle. Dairy Sci. Abs. 24, 2280.

RICHARDSON T., Mc GANN T.C.A., 1964. Fatty acids in Irish butterfat. Irish J. Agric. Res. 3, 151-157.

RIZACK M.A., 1965. Hormone sensitive lipolitic activity of adipose tissue. Adipose Tissue 309-311. Ed. RENOLD A.E.,CAHILL G.F., Amer. Physio. Soci.

ROBERTSON S.J., HAWKE J.C., 1964. Studies on rumen metabolism. III. Effect of lipid in-vivo and in-vitro on microbial activity. J.Sci. Fd. Agric. 890-897.

ROBINSON D.S., 1963. The clearing factor lipase and its action in the transport of fatty acids between the blood and the tissues. Adv. in Lipid Res.1, 133-182.

ROBINSON D.S., BARRY J.M., BARTLEY W., LINZELL J.L., 1963. The uptake from the blood of trigryceride fatty acids of chylomicro and low density lipoproteins by the mammary gland of the goat. J. Biochem. 87, 23P.

RODRIGUE C.B., ALLEN N.N., 1960. The effect of fine grinding of hay on ration digestibility rate of passage and fat content of milk. Can.J.Animal.Sci.,40, 23-29.

ROOK J.A.F., 1959. Milk composition in relation to rumen metabolism. Proc. Nutr. Soci., 18-19.

ROOK J.A.F., 1964. Ruminal volatile fatty acid production in relation to animal production from grass. Proc. Nutr. Soci. 71-79.

ROOK J.A.F., BALCH C.C., JHONSON V.W., 1965. Further observations on the effects of intraruminal infusion of volatile fatty acids and lactic acid on the yield and composition of the milk of the cow. Brit. J. of Nutr. 19, 93-101.

SAMPUGNA J., PITAS R.E., JENSEN R.G., 1966. Gas liquid chromatographic analysis of milk fat. Rapid preparation of butylesters. J. Dairy Sci. 1462-1463.

SARRA C., CELLINO A., PATRUCCO C., TURI R.M., DURIO P., 1965. Synthesis of fatty acids in the lactating goat given sodium propionate via the rumen on mammary gland. D.S. Abs. 1468.

SHAW J.C., ENSOR W.L., 1959. Effect of feeding cod liver oil and unsaturated fatty acids on the rumen volatile fatty acids and milk fat content. J. Dairy Sci. 1238-1240.

SHORLAND F.B., WEENINK R.O., JOHN A.T., 1955. Effect of rumen on dietary fat. Nature 175, 1129.

SHORLAND F.B., GERSON I., HENSEN R.P., 1955. The branched chaine fatty acids of butterfat. VII. Further investgations on the C_{15} saturated acids. Biochem. J. 59, 350.

.../...

SHORLAND F.B., WIININK R.O., JOHN A.T., Mc DONALD I.R.C., 1957. The effect of sheep rumen contents on unsaturated fatty acids. Biochem. J. 67, 328.

SHORLAND F.B., 1961. Aceton soluble lipids of grass and other forage plantes. II. General observations on the properties of the lipids with special reference to the yield of fatty acids. J. Sci. Fd. Agric. 12-39.

SKOURI M., 1967. L'origine des lipides du lait. Thèse Ing. Doc. Fac. Sci. Paris.

SMITH L.M., 1961. Quantitative fatty acid analysis of milk fat by gas-liquid chromatography. J. Dairy Sci. 607-622.

SMITH L.M., DAIRIKI T., DUNKLEY W.L., RONNING M., 1966. Effect of certain dietary variables on fatty acid composition and oxidative stability of milk lipids. XVIIème Cong. Internat. de Laiterie. Section A, 2.

STORRY J.E., ROOK J.A.F., 1965. The effect of a diet low in hay and high in flaked maize on milk secretion and on the concentration of certain constituents in the blood plasma of the cow. Brit. J. Nutr. 19, 101.

STORRY J.E., ROOK J.A.F., 1965. Effect in the cow of intraruminal infusion of volatile fatty acids and of lactic acid on the secretion of the component fatty acids of the milk fat and on the composition of blood. J. Biochem. 96, 210-217.

STORRY J.E., ROOK J.A.F., 1965. Effect of intravenous infusion of acetate hydroxybutyrate, triglyceride and other metabolites on the composition of milk fat and blood in cows. Biochem. J. 97, 879.

STORRY J.E., ROOK J.A.F., HALL A.J., 1966. The effect of the amount and type of dietary fat on milk fat secretion in the cows. Brit. J. Nutr. 21, 425-438.

STADHOUDERS J., MULDER H., 1955. The composition of dutch butterfat. I. Seasonal variations in the unsaturated fatty acid composition of butterfat. Neth. Milk Dairy J. 9, 182.

STADHOUDERS J., MULDER H., 1956. The composition of dutch butterfat. II. Seasonal variations in the unsaturated fatty acid composition of butterfat. Neth. Milk Dairy J. 10, 53.

STULL J.W., BROWN W.H., 1964. Fatty acid composition of milk. II. Some differences in common dairy breeds. J. Dairy Sci. 1412.

STULL J.W., BROWN W.H., VALDEZ C., TUCKER HK, 1966. Fatty acid composition of milk III. Variation with stage of lactation. J. Dairy Sci. 1401-1405.

SVENSEN A., YSTGAARDO M., 1966. Fatty acid composition of Norvegian butterfat. XVIIème Cong. Internat. de Laiterie, 135-144.

TANHYANPAA E., LINDBERG P., 1965. The fat content and fatty acid composition of grain during storage. Acta Agric. Scandinavica XV, 2, 171-180.

.../...

THOMAS D.J., TERRY R.A., 1965. Rumen volatile fatty acid propertion and herbage diets. Proc. Nutr. Soci. XXV.

THOMAS G.D., BARTLEY E.E., PFOST H.B., MEYER R.M., 1968. Feed processing. III. Effect of ground, steam headed, and pelleted hay, with and without pelleted grain, on milk composition and rumen volatile fatty acid ratios. J. Dairy Sci. 869-876.

TOULLEC R., 1967. Les corps gras dans les produits d'allaitement. Performances et contrôle de qualité. Rev. Fr. des Corps gras 515-524.

VAN SOEST P.J., ALLEN N.N., 1959. Studies on the relationships between rumen acids and fat metabolism of ruminants fed on restricted roughage diets. J. Dairy Sci. 1977-1985.

VAN SOEST P.J., 1963. Ruminant fat metabolisme with particular reference to factors affecting low milk fat and feed efficiency. A revieuw J. Dairy Sci.204-216.

VAUGHAN M., 1961. The metabolism of adipose tissue in-vitro. J. Lipid Res. 293-316.

VIRTANEN A.I., 1966. Milk production of cows on protein-free feed. Science 153, 1603-1614.

VIVIANI R., GANDOLFI M.G., BORGATTI A.R., 1963. Fatty acid composition of lipid of rumen bacteria and protozea of sheep. Boll.Soc.Ital.Biol.Sper.39, 1831.

VIVIANI R., LENAZ G., 1963. Sintesi di acidi grassi a lunga catena nel rumen di ovino. Boll.Soc.Ital.Biol.Sper. 39, (24 bis) 1-4.

WAITE R., 1965. The chemical composition of grass in relation to agronomica practice. Proceed. Nutr. Soci. 38-46.

WAKIL S.J., 1961. Mecanism of fatty acid synthesis. J. Lipid Res. 1-24.

WARD P.F.V., SCOTT T.W., DAWSON R.M.C., 1964. The hydrogenation of unsaturated fatty acid in the ovine digestive tract. Biochem. J. 92, 60-68.

WEENINK R.O., 1959. A note in acetone soluble lipids of forage grasses and clovers. N.Z.J. Sci. t2, 273.

WELCH V.A., NOBLE R.C., WRIGHT E.W., BISHOP C., GLASCOCK R.F., 1963. The transport in the blood of dietary lipid and its incorporation into milk fat in the cows. J. Biochem. 87, 32P.

WOOD H.G., GILLESPIE R., JOFFE S., HANSEN R.G., HARDENBROOK H., 1958. Lactose synthesis. V. C^{14} in lactose, glycerol, and serine as indicators of the triose phosphate isomerase ration and pentose cycle. J.Biol.Chem. 233, 1271.

WRIGHT D.E., 1959. Hydrogenation of lipids by rumen protozea. Nature 184, 875.

YADAGAI S., WARNER R.G., LOOSLI J.K., 1967. Effect of pelleting concentrate mixtures of varying starch content on milk yied and composition. J.Dairy Sci.1606-1611.

DEUXIEME THESE

"Origine des protéines du lait"

VU ET PERMIS D'IMPRIMER
(Décret n° 67-750 du 29 Août 1967)
Clermont-Fd, le 31 Octobre 1968

Le Doyen,

J. SAUREL